

Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung

herausgegeben von

E. Abderhalden.

4. Band.





FORTSCHRITTE

DER

NATURWISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG.

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. EMIL ABDERHALDEN,
HALLE a. S.

VIERTER BAND.

MIT 110 TEXTABBILDUNGEN.

URBAN & SCHWARZENBERG
BERLIN N., FRIEDRICHSTRASSE 105b
WIEN I., MAXIMILIANSTRASSE 4
1912.

Inhaltsverzeichnis.

Die Entwicklung der operativen Methodik zum Studium von Verdauungs- und Resorptionsprozessen.

Von **E. S. London**, St. Petersburg.

A. Einleitung.

Die Entwicklungsgeschichte des genannten Abschnittes der physiologischen Methodik entspricht im allgemeinen derjenigen sämtlicher wissenschaftlicher Disziplinen. Der forschende menschliche Geist stellte sich eine Reihe von Fragen, auf welche das alltägliche Leben keine direkte Antwort zu geben vermag. Es erfolgte eine zufällige, unvorhergesehene Abweichung von der normalen Lebensordnung, und ein zufälliger Beobachter, welcher die Fähigkeit besaß, in ausschließlichen Erscheinungen Elemente allgemeiner Ordnung ausfindig zu machen, lenkte seine Aufmerksamkeit auf die in der Natur verborgenen Erscheinungsmechanismen. Sodann folgt eine Nachahmung der Natur in Form von künstlichen Experimenten, welche nach einer Reihe von Mißerfolgen und Erfolgen schließlich die in den Tiefen der Natur verborgenen Geheimnisse aufdecken.

Die Rolle eines glücklichen Zufalls spielte in diesem Falle ein unglückliches Ereignis, welches einem jungen canadischen Jäger namens *Alexis St. Martin* in den Vereinigten Staaten zustieß. Durch einen zufälligen Gewehrschuß wurde dieser junge Soldat in die linke Brusthälfte verwundet. Das Projektil drang von hinten nach vorn und innen ein, zermalmte den vorderen Teil der sechsten Rippe, deren Bruchstücke es mit sich riß, zerbrach sodann die fünfte Rippe, zerriß den unteren linken Lungenlappen, perforierte das Zwerchfell und den Magen. Der Verwundete kam bei dem Chirurgen *Beaumont* in Behandlung, welcher alle zu jener Zeit möglichen Mittel anwandte, um ihm das Leben zu retten. Nach langer Behandlung erholte sich der Patient ganz und gar, jedoch blieb eine ziemlich große stationäre Magenfistel, welche in der linken Mamillarlinie einige Zoll unterhalb der Brustwarze gelagert war, zurück. Zu Anfang ließ die Fistel Nahrung passieren, mit der Zeit aber bildete sich an ihrem Rande eine Schleimhautklappe, welche die Fistelöffnung verlegte, indem sie sich aus dieser hervorstülpte.

Beaumont verfiel auf den glücklichen Gedanken, diesen in wissenschaftlicher Beziehung hochinteressanten Patienten als Hausdiener bei sich anzustellen und an ihm eine Reihe von Beobachtungen und Versuchen vorzunehmen, um die physiologische Funktion des Magens festzustellen. Die Beobachtungen begannen im Mai 1825 und dauerten 8 Jahre (bis 1833), wonach ihre Ergebnisse in einer besonderen Monographie [1]) veröffentlicht wurden. *Beaumonts* Arbeit erregte sofort allseitiges Aufsehen, wurde ins Deutsche übersetzt, fand zahlreiche Nachahmer [2]) in der Klinik und im Experiment [3]) und führte schließlich zu der experimentell-operativen Methode, welcher die Wissenschaft im wesentlichen sämtliche Errungenschaften der gegenwärtigen Lehre von der funktionellen Tätigkeit des Verdauungsapparates verdankt.

B. Entwicklungsstadien der Untersuchungsmethodik.

Wirft man einen allgemeinen Überblick über den gesamten Entwicklungsgang derjenigen Methoden, deren sich die Physiologen bedienten, um das Wesen und den Mechanismus der Verdauungsarbeit aufzudecken, so kann man deutlich drei Hauptperioden: I. die spekulative und II. die experimentelle unterscheiden. In der letzteren Periode bewegte sich die Evolution in 2 Richtungen fort: es wurden 1. Beobachtung und 2. Vivisektion zu diesem Zwecke ausgenutzt. Die III. Hauptperiode — die operative — erwies sich als die fruchtbarste.

I. Spekulative Periode.

Diese Periode nimmt mit der Lehre des berühmtesten Arztes Griechenlands (460—377 v. Chr.), des *Hippokrates* (Fig. 1), ihren Anfang. Bekanntlich lehrte *Hippokrates*, daß die philosophisch angelegten Ärzte, zu denen er auch selbst gehörte, eine höchst entwickelte Devinationsgabe besitzen. Ein solcher Arzt kommt nach *Hippokrates*' Meinung den Göttern gleich. Von dieser Anschauung ausgehend, hielt er es für unnütz, zum Studium der Arbeit des Verdauungsapparates irgend welche speziellen Untersuchungen vorzunehmen und begnügte sich mit der Feststellung einer theoretischen Charakteristik der wesentlichen Punkte des Verdauungsprozesses. *Hippokrates* glaubte, daß die Verdauung der Nahrung im Magendarmkanal nichts anderes als wie ein gewöhnliches Kochen — πέψις —

---

[1]) *W. Beaumont: a)* Experiments and Observatory on the Gastric Juice and the Physiology of Digestion. Repriated from the Plattsburgh edition, with notes, by Andrew Combe, M. D., Edin., 1838; *b)* Neue Versuche und Beobachtungen über den Magensaft und die Physiologie der Verdauung. Deutsch von Dr. *B. Luden.* Leipzig 1834.

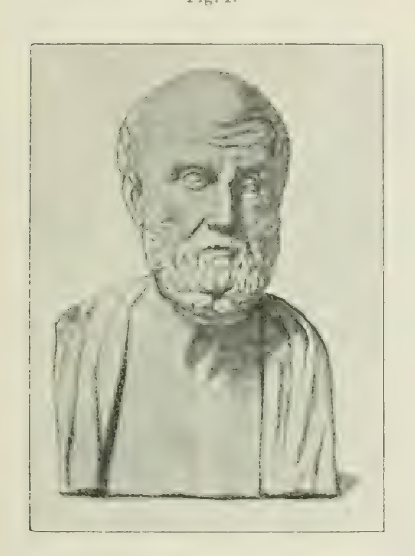
[2]) *a) W. Robertson,* Verbindung zwischen dem Magen und der äußeren Fläche des Abdomens. Monthly Journal, Januar 1851; *b) Otto* a *Grueneicaldt,* Succi gastrici humani indoles physica et chemica ope fistulae stomachalis indagata. Diss. Dorpati livornorum, MDCCCIII.

[3]) *Blondlot,* Traité analytique de la digestion. Paris 1842.

durch die tierische Wärme ist: der Verdauungsapparat kocht gleichsam auf natürlichem Wege das gar, was das künstliche Feuer nicht bewältigen konnte.

An dieser Ansicht, welche eigentlich nur einen rein äußerlichen Vergleich darstellte, hielt man nichtsdestoweniger lange Zeit über fest. Bald nach *Hippokrates'* Tode entwickelte sich eine neue philosophische Weltanschauung, welche in der Lehre von der Verdauung ihren Wiederklang finden mußte: hierzu bedurfte es nichtsdestoweniger mehr als eines Jahrhunderts. Es handelt sich hier um die atomistische Lehre *Epikurs* (342—270 v. Chr.), welcher die Lehre *Demokrits* weiter ausbaute und behauptete, daß alles in der Natur Bestehende aus unendlich kleinen, nur intensiv wahrnehmbaren Atomen, welche durch verschwindend kleine

Fig. 1.



Hippokrates.





Galen.

Zwischenräume, Poren — πόρος — voneinander getrennt sind, bestehe und daß die Welt aus diesen unzähligen Atomen infolge ihres zufälligen Zusammentreffens entstanden sei. Der römische Arzt *Asclepiades* (128 bis 56 v. Chr.), der von dieser Lehre ausging, äußerte sich gegen die Ansicht des *Hippokrates*, daß der Verdauungsprozeß nur ein Abkochen der Speise durch tierische Wärme darstelle und behauptete vielmehr, daß dieser Prozeß eine Erscheinung sui generis sei, welche darin bestehe, daß die Nahrung in ihre einzelnen Atome zersetzt und in dieser Form durch Vermittlung des Blutes dem Organismus einverleibt wird.

Die spekulative Methode hatte also die Verdauungstheorie aus einem Extrem ins andere geworfen. Die Theorie einer schwachen, unbedeutenden Transformation der Nahrung im Gastrointestinaltraktus war durch die Theorie einer bis in die Tiefe gehenden chemischen Dissoziation derselben in ihre einzelnen Atome ersetzt worden.

Die Anschauung des *Asclepiades* war in natürlicher Weise aus dem Boden der damals herrschenden, allgemeinen, materialistischen, atomistischen Weltanschauung hervorgegangen. Neben dieser herrschte jedoch auch die entgegengesetzte Weltanschauung, welche aus einer anderen, teleologischen Denkart hervorgegangen war. Der hervorragendste Repräsentant dieser Richtung war *Galen* (Fig. 2), 131—201 oder 210 n. Chr. Geb. Er verwarf die materialistische, atheistische Weltanschauung, welche lehrte, daß es im Weltall keine vernünftige Vorsehung, welche allem Bestehenden einen bestimmten Zweck zudenke, gebe und daß die Entstehung der ganzen Weltenordnung eine Folge ganz gewöhnlicher Zufälligkeiten sei. *Galen* lehrte ganz im Gegenteil, daß alles in der Natur durch ein höheres Prinzip nach einem bestimmten, vorgezeichneten Plane eingerichtet sei und daß der Forscher nicht zu ergründen suchen soll, wie die verschiedenen Körperteile aufgebaut sind und wie die verschiedenen physiologischen Prozesse vor sich gehen; seine Aufgabe besteht nur darin, daß er die Beziehungen zwischen Bau und Lage der Organe einerseits und ihrer funktionellen Tätigkeit andrerseits studiere. Indem er in dieser Richtung weiter ging, kam *Galen* zu dem Schlusse, daß der Naturforscher sich nicht auf rein spekulative Betrachtungen beschränken könne, um die ihn interessierenden Fragen zu lösen, daß es hierfür vielmehr einer direkten Beobachtung an dem Untersuchungsobjekt bedürfe. Diese Schlußfolgerung bewog ihn, zu der Vivisektionsmethode zu greifen. Um im speziellen die funktionelle Bedeutung des Gastrointestinaltraktus zu bestimmen, unternahm *Galen* Tausende von Sektionen und sehr viele Vivisektionen. Auf Grund seiner Beobachtungen stellte er als erster den Satz auf, daß der Magen während der Verdauung die Nahrung fest umschließe und daß der Pylorus das Austreten der Nahrung aus dem Magen verhindere. Den Verdauungsprozeß selbst aber sah er als einfache Fäulnis an.

Galen also, welcher einerseits noch auf dem alten spekulativen Standpunkte steht, macht andrerseits den ersten richtigen Schritt in das Gebiet der Vivisektionsmethode. Dieses Prinzip fand jedoch im Laufe von 12 auf *Galen* folgenden Jahrhunderten keine direkte Fortsetzung. Mit *Galen* war die wissenschaftliche Welt des Altertums abgeschlossen, und auf diesem Standpunkte blieb die Wissenschaft bis zum Zeitalter der Renaissance stehen.

Im Zeitalter der Renaissance verbrannte *Paracelsus* (1490 bis 1534) öffentlich vor seinen Zuhörern *Galens* Werke. Die von letzterem hervorgehobene Vivisektionsmethode war vergessen und das spekulative Verfahren feierte wiederum Triumphe. Im XVI. Jahrhundert entwickelte sich die iatrochemische Schule, deren hervorragendster Repräsentant *Johann Baptist van Helmont* (Fig. 3) (1578—1644) war. Die Iatrochemiker lehrten, daß sämtliche Lebenserscheinungen der Organismen nichts anderes seien, als wie chemische Prozesse, welche durch die Einwirkung von vier Elementen: der Alkalien, Säuren, Salze und Fermente, bedingt werden. Unter Fermentation verstanden sie eine Bewegung des Stoffes, welche

durch chemische Agentien hervorgerufen wird. Die Verdauung sah *van Helmont* als Fermentation an; es muß jedoch bemerkt werden, daß seine Anschauung über das Wesen der Fermentation eine eigenartige war. Er lehrte, daß an dem Duumvirat des Magens und der Leber besondere höhere nichtmaterielle Prinzipien, die Archei insiti, welche die Nahrungsfermentation leiten, teilnehmen. Von der Beobachtung ausgehend, daß weder Essig, noch Zitronensaft an und für sich Mehlgärung hervorrufen, schloß *van Helmont*, daß also der Magen ein spezifisches Fermentationsagens enthalten müsse.

Gegen Ende des XVII. Jahrhunderts wurde die iatrochemische Schule durch die iatromathematische verdrängt. Der hervorragendste Repräsentant derselben ist, soweit es sich wenigstens um die uns hier interessierende Frage handelt, *Borelli*[1]) (1608—1679). Die Iatrochemiker arbeiteten sozusagen fruchtlos, da sie einerseits nur danach strebten, die Erscheinungen selbst und ihren Entstehungsmechanismus zu studieren, andrerseits aber ihre Erklärungen auf dem Gebiete der Chemie, welche damals noch eine Terra incognita darstellte, suchten. Ganz anders die Iatromathematiker. Als Vorkämpfer der angewandten Mathematik, welche, beiläufig gesagt, zu jener Zeit bereits eine verhältnismäßig hohe Entwicklungsstufe erreicht hatte, hielten sie es für notwendig, ihre Schlußfolgerungen auf dem Studium der äußeren mechanischen Wechselbeziehungen, welche von der Natur zwischen den verschiedenen physiologischen Funktionen festgestellt sind, aufzubauen.

Fig. 3.



Borelli hob im Gegensatz zu den früheren Anschauungen über den Verdauungsprozeß eine neue Theorie — die mechanische — hervor. Den Ausgangspunkt für diese Theorie bildeten *Borellis* Beobachtungen an dem Magenapparat von Vögeln, welcher bekanntlich eine sehr stark entwickelte Muskulatur, die Zerkleinerung der härtesten Objekte, bewirken kann, besitzt. Indem er dem menschlichen Magen eine ebensolche Kraft zuschrieb, berechnete *Borelli*, daß derselbe eine Druckkraft auf seinen Gehalt aus-

[1]) *Borelli*, „De motu Animalium". Opus posthumum. Romae 1681.

üben könne, welche 1000 Pfd. gleichkomme. *Borelli* lehrte, daß die Hauptfunktion des Magens in einer mechanischen Zerkleinerung der Nahrung, deren feinste Partikelchen sodann ins Blut gelangen, bestehe: es muß jedoch bemerkt werden, daß er andrerseits bei einigen Tieren die Bedeutung der chemischen Magenfunktion nicht leugnete.

Einige Iatromathematiker dagegen verneinten die letztere ganz und gar, z. B. *Archibald Pitceirn*[1], welcher die mechanische Kraft der Magenwand auf 12.951 Pfd. bemaß.

In dieser Weise tasteten die alten Physiologen umher und warfen sich aus einer spekulativen Theorie in die andere, bis sich schließlich die Untersuchungsmethode selbst veränderte, bis für physiologische Untersuchungen das Experiment zur Grundlage wurde. Es ist dieses nun einmal das Charakteristische der Natur, daß sie direkt, unvermittelt ihre Geheimnisse nicht kundgibt, sondern daß man sie erst in künstliche Bedingungen einschließen muß, damit sich die eine oder die andere verborgene Eigenschaft erschließt. Richtige Ansichten über die Arbeit des Verdauungsapparates bildeten sich erst, als die Physiologie den Weg des Experimentes einschlug.

II. Experimentelle Periode.

Die ersten Versuche, welche die Lösung der Frage nach dem Wesen des Verdauungsprozesses bezweckten, sind von *Réaumur*[2] (1683—1757) an einem zahmen Bussard angestellt worden. Der Bussard erbricht bekanntlich gleich dem Habicht und der Eule unverdaute Speiseüberreste, wie z. B. Federn, Knochen usw. Seinen Bussard ließ *Réaumur* Metallröhren, welche mit verschiedenen Nährsubstanzen angefüllt waren, herunterschlucken; die Röhren waren an ihrem einen Ende ganz geschlossen, am anderen aber mit einer Mullschicht bedeckt. Die Nahrung war auf diese Weise gegen die mechanische Wirkung der Magenwand geschützt und blieb zugleich für den Magensaft erreichbar. Es erwies sich, daß die in den Röhren enthaltenen Nahrungsstoffe in Abhängigkeit von der Dauer ihres Verweilens im Magen einen verschiedenen Grad von Lösung offenbaren und daß selbst Knochen aufgeweicht und gelöst werden.

Hieraus zog *Réaumur* den ganz natürlichen Schluß, daß zur Lösung von Nährsubstanzen die mechanische Arbeit des Magens nicht notwendig ist und daß der Magen hierfür ein besonderes chemisches Mittel besitzt.

Es muß eine Methode ersonnen werden, um dieses verdauende Agens aufzufangen und seine Wirkung in vitro zu erproben. *Réaumur* benutzte auch zu diesem Zwecke seine Röhrchen, indem er Schwammstücke in sie hineinbrachte. Nachdem die Röhren zurückgewonnen worden waren, preßte

[1]) The Whole Works of Dr. *Archibald Pitceirn* etc. Übersetzt von George Sewell, M. D. und J. J. Desaguliers, D. D. und F. R. S. 3. Ausgabe. London. 1740.

[2]) *Réaumur, a)* Sur la digestion des oiseaux (première mémoire). Mém. de l'Acad. des Sciences. 1752. p. 266; seconde mémoire: De la manière dont elle se fait dans l'estomac des oiseaux de peroie. Mém. de l'Acad. des Sciences. 1752, p. 461.

er die Schwämme aus und erprobte sodann die Verdauungswirkung des ausgepreßten Saftes außerhalb des Organismus. Jedoch ergaben diese Versuche ein negatives Resultat.

Réaumurs Versuch weckte das Bestreben, die von ihm aufgestellten Befunde am Menschen nachzuprüfen. Bald bot sich hierzu ein passender Zufall. Im Jahre 1777 trat in Edinburg ein Ungar auf, welcher dem Publikum von der Bühne aus ein besonderes Kunststück zeigte. Er schluckte Steine hinunter und gab sie sodann willkürlich durch Erbrechen von sich. Dr. *Stevens*[1]) nahm an diesem Ungar eine Reihe von Versuchen nach dem Vorbilde derjenigen, welche *Réaumur* an Raubvögeln angestellt hatte, vor. Er gab ihm silberne, durchlöcherte, hohle Kugeln, welche sich öffnen ließen und welche fest zugeschraubt wurden, nachdem sie mit Speise gefüllt waren, zu schlucken. Es erwies sich, daß in den erbrochenen Kugeln entweder gar keine Speiseüberreste mehr enthalten waren oder daß sie sich im Zustande einer mehr oder minder vollständigen Lösung befanden.

Stevens experimentierte auch an Hunden. Er gewann unter anderem Magensaft vom Hunde und bewies, daß letzterer auch außerhalb des Organismus Fleisch auflöst. Hiermit begann das Studium der Verdauungserscheinungen in vitro.

Spallanzani[2]) setzte die Versuche von *Réaumur* und *Stevens* fort, bestätigte und erweiterte sie. Außerdem konstatierte er als erster die antiseptische Wirkung des Magensaftes. Nach *Spallanzanis* Versuchen zweifelte niemand mehr daran, daß die Verdauungssäfte in vitro dieselben Prozesse hervorbringen wie im lebenden Organismus.

III. Die operative Methode.

Wie bereits oben erwähnt, wurde die Wissenschaft durch einen glücklichen Zufall zur operativen Methode geführt. *Bassow* in Moskau und *Blondlot* in Nancy waren die ersten, welche die operative Methode zum experimentellen Studium der Funktion des Verdauungsapparates benutzten: sie legten Hunden eine Magenfistel an und studierten systematisch die Erscheinungen der Magenverdauung. Dem Beispiele dieser beiden Gelehrten folgten bald andere Physiologen, indem sie einerseits die Operationsmethodik der Magenfistel vervollkommneten, andrerseits aber neue Operationsmethoden zum Studium der Funktion anderer Verdauungsorgane ausarbeiteten. Gegenwärtig hat die betreffende Operationsmethodik einen so hohen Grad von Vollkommenheit erlangt, daß man eine beliebige Frage auf dem Gebiete der Verdauung in den denkbar günstigsten Bedingungen, welche eine durchaus exakte Antwort erwarten lassen, studieren kann.

---

[1]) *Stevens,* De Alimentorum concoctione. Edinb. 1777.

[2]) *Spallanzani, a)* Expériences sur la digestion de l'Homme et de différentes espèces d'Animaux. Genève. 1783; *b)* Versuche über das Verdauungsgeschäft. Deutsch von *Michaelis,* S. 76, Leipzig 1785.

C. Entwicklung der methodologischen Prinzipien.

Der natürliche chirurgische Fall von *Beaumont* enthielt Hinweise auf ein ganzes methodologisches Programm, welches dem Studium verschiedener Stadien des Verdauungsprozesses in der ganzen Erstreckung des Verdauungskanals freien Zutritt gestattet. *Beaumonts* Patient besaß eine Magenfistel mit einem Sporn, welcher unter gewöhnlichen Verhältnissen rein mechanisch einen intakten physischen Zustand des Magens sicherte und andrerseits dem Forscher zu einer beliebigen Zeit einen freien Zutritt zu seinem Lumen gestattete. Man hat hier also die Möglichkeit, die Verdauungsprozesse experimentell zu studieren, ohne in irgendwie fühlbarer Weise die normalen anatomisch-physiologischen Verhältnisse zu stören. Den späteren Forschern entging jedoch dieser Fingerzeig des Zufalls, und sie suchten neue Wege zu operativen Eingriffen in die natürlichen Verhältnisse, um die zu studierenden funktionellen Abschnitte möglichst streng zu isolieren. Dieses war durch die Meinungsverschiedenheiten, welche damals in betreff der kardinalen Momente des Verdauungsaktes herrschten, hervorgerufen. Trotz den scheinbar einleuchtenden Untersuchungen von *Réaumur* und *Spallanzani*, aus welchen hervorging, daß der Magen zur Verdauung der Speise einen spezifischen Saft absondert, wurden dennoch Stimmen (z. B. des Berliner Professors *Schulz*[1]) laut, welche behaupteten, daß der sogenannte Magensaft nichts weiter sei, als wie heruntergeschluckter Speichel, welcher aus der Mundhöhle in den Magen geraten war. Trotz dem Befunde von *Beaumont*, welcher eine Absonderung von Magensaft durch die Magenwand direkt beobachtet hatte, blieb der damaligen Methodik doch der schwache Punkt anhaften, daß der Speichel in der Tat in den Magen der zu untersuchenden Tiere gelangte.

Überhaupt bemerkten schon die ersten Forscher auf dem Gebiete des Verdauungsprozesses, daß die einzelnen Säfte, welche aus verschiedenen Drüsenapparaten in das Magendarmlumen ausgeschieden werden, nicht ihre streng umgrenzten Bezirke haben, sondern sich fortwährend miteinander vermengen. Als die Operationsmethodik sich zu entwickeln begann, wendete sich in natürlicher Weise das Augenmerk der Forscher dahin, daß sie die e i n z e l n e n A b s c h n i t t e d e r v e r s c h i e d e n e n s e c e r n i e r e n d e n A p p a r a t e a u f o p e r a t i v e m W e g e k o n s t a n t u n d p e r m a n e n t z u i s o l i e r e n suchten, wobei ihr Sekret nach außen ausgeschieden wurde.

Den ersten Schritt tat in dieser Richtung *Thiry* im Jahre 1864. Er resezierte einen Teil des Dünndarms, vernähte das eine Ende desselben, während das andere nach außen gekehrt und mit den Rändern der Bauchwunde vernäht wurde; die freien Enden des Dünndarms aber wurden durch Anastomose vereinigt.

---

[1]) *Schulz*, De Alimentorum concoctione experimenta nova. Berolini 1834.

Diese Operation bildete den Grundstein zur Methodik der Gewinnung von natürlichen, reinen, unvermengten Verdauungssäften, weil durch sie ein sicherer Weg zur Erreichung dieses Zieles vorgesteckt war. Seiner Operation legte *Thiry*, wie soeben angegeben, das Prinzip einer permanenten Isolation eines Teiles des sezernierenden Organs zugrunde. Denselben Weg schlugen die späteren Forscher *Heidenhain*, *Pawlow*, *Glinsky* ein. Der erste von ihnen wandte das Prinzip am Magen an. Er resezierte einen Teil des Magens, vernähte ihn zu einem an dem einen Ende offenen Rohre und dieses Ende wiederum mit den Rändern der Bauchwunde. Derselbe Autor und zur selben Zeit auch *Pawlow* führten die Fisteloperation am Pankreas aus. Letzteres entleert bekanntlich sein Sekret beim Hunde vermittelst mehrerer Ausführungsgänge ins Duodenum, so daß es möglich ist, einen von diesen, selbst den Hauptausführungsgang ohne besonderen Schaden für den Hund nach außen zu verlegen. *Glinsky* schließlich wandte dasselbe Prinzip an den Speicheldrüsen an.

Die Methode einer partiellen, permanenten Isolation des sezernierenden Organs erwies sich für die Entwicklung des die Verdauung behandelnden Abschnittes der Physiologie als sehr fruchtbringend, denn nur dank ihr konnten sämtliche Verdauungssäfte in absolut reiner Gestalt gewonnen und das Studium ihrer Wirkung, sowohl eines jeden vereinzelt, als auch mehrerer im Gemenge auf verschiedene Bestandteile der Nahrung möglich werden.

Dieselbe Methode leistete auch noch einen anderen Dienst. Sie ermöglichte das Studium der Verdauungsdrüsen in ihrer Abhängigkeit vom Verlauf des Prozesses der Saftsekretion.

Seit Entdeckung der Methode einer Gewinnung von reinen Verdauungssäften und seit Ausarbeitung einer Methode zum Studium des Ganges der Saftsekretionsprozesse fand die Physiologie der Verdauung eine feste wissenschaftliche Unterlage.

Obzwar nun aber einerseits die Methodik einer Gewinnung von isolierten Säften ihren Abschluß erst seit Einführung einer Methode zur partiellen, permanenten Isolation in die experimentelle Laboratoriumspraxis gefunden hat, so konnte andrerseits die Methodik, welche den Gang des Saftsekretionsprozesses zu studieren hatte, von der hierbei sich stark bemerkbar machenden Künstlichkeit und Bedingtheit der Erscheinungen nicht unberührt bleiben. Der Teil des Magens oder Darmes, welcher ein für alle Male aus dem aktiven Bestande des Organs ausgeschieden und zu einer vollständigen funktionellen Untätigkeit verurteilt ist, kann nicht mehr als richtiges Spiegelbild der funktionellen Tätigkeit des ganzen Organs dienen. Außerdem gibt es ein ganzes Gebiet im Abschnitte der Verdauungsphysiologie, zu dessen Ausarbeitung die erwähnte operative Methodik durchaus keinen Zugang eröffnete. Es handelt sich hier um die chemischen Prozesse, aus denen sich die Verdauung und Resorption der verschiedenen Nährsubstanzen zusammensetzt, um die gesetzmäßigen Beziehungen, unter denen diese Prozesse verlaufen, um die funktionelle Bedeutung der ein-

zelnen Teile des einen oder des anderen Sekretionsapparates. Zur Lösung all dieser Fragen mußte die experimentelle Methodik einen anderen Weg einschlagen, mußte ein neues, labileres und dehnbareres methodologisches Prinzip eingeführt werden. Diese Lücke suchte *E. S. London*[1], welcher zu einer neuen Methodik, die auf eine temporäre, operativ mechanische Isolation des zu studierenden Verdauungskanalabschnittes hinausläuft, den Grundstein legte, auszufüllen.

Ein jedes Experiment wird dann vorgenommen, wenn die Beobachtung irgend einer Erscheinung unter gewöhnlichen Verhältnissen auf die gestellten Fragen keine Antwort gibt. Das Experiment bezweckt, die Erscheinung unter möglichst einfache Bedingungen zu stellen, damit das Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung möglichst klar zutage tritt. Es liegt also in der Natur eines jeden Experimentes, daß man sich bei demselben stets ungewönliche, von der Norm abweichende Bedingungen denkt. Jedoch hat diese Abweichung natürlich ihre Grenzen. Das Experiment ist um so vollkommener, je mehr es sich den normalen Verhältnissen nähert, wenn es sich um die Feststellung normaler Verhältnisse handelt. Bei der Dauerisolierungsmethode wird irgend ein Abschnitt des Verdauungsapparates, wie bereits erwähnt, ganz aus dem aktiven Bestande des Organs ausgeschlossen, so daß die normalen Reize, welche gewöhnlich die normale Funktion des Organs bedingen, ganz ausgeschlossen sind. Weiter unten wollen wir an verschiedenen speziellen Beispielen die Sachlage genauer erleuchten. Hier aber soll nur bemerkt werden, daß bei der Temporärisolierungsmethode, soweit sie mit der vorhergehenden verglichen werden kann, d. h. soweit sie zum Studium der Saftsekretionsprozesse angewandt wird, alle Teile des Verdauungstractus an ihrem gewohnten Platze belassen werden und daß hier die einzige formelle Störung der normalen Verhältnisse in der Vernähung einer besonderen Metallkanüle in verschiedene Abschnitte des Verdauungskanals besteht. Diese Störung normaler Verhältnisse kann man deshalb als eine rein formelle bezeichnen, weil sie nur das Aussehen des Tieres verändert, ohne den normalen Gang der Prozesse zu berühren. Eine gut angelegte Fistel kann, selbst wenn sie groß ist und selbst wenn sie in mehrfacher Anzahl vertreten ist, auch nicht die geringste Störung der gesamten Lebensfunktionen des Tieres, welche irgendwie zu bemerken oder durch Analyse des Stoffwechsels nachzuweisen wäre, hervorrufen.

Während des Versuches wird in den Darm, um temporär irgend einen Abschnitt desselben zu isolieren, ein Gummiballon eingeführt (Fig. 4 und 5). Auf diesen Eingriff reagieren einige Hunde sogar zum ersten Male gar nicht. Es kommen jedoch auch Hunde vor, bei denen die Einführung des Ballons in das Darmlumen eine geringe Hemmung verschiedener Verdauungsfunktionen nach sich führt. Nach einigen Probeversuchen gewöhnt

---

[1]) *E. S. London,* Operative Technik zum Studium der Verdauung und Resorption. *Abderhaldens* Handb. d. biochem. Arbeitsmethoden, Bd. III, 1910.

sich der Darm vollständig an diesen mechanischen Reiz, welcher dann keine Nebenwirkungen mehr hervorruft.

Es wäre ein Irrtum, wenn man annehmen wollte, daß die Temporärisolierungsmethode darauf hinzielt, die Dauerisolierungsmethode ganz zu verdrängen. Eine jede dieser zwei Methoden hat, soweit sie ein und dasselbe Ziel, die Bestimmung der Saftsekretionsprozesse, verfolgen, ihren beschränkten Verwendungskreis. Im weiteren wird fortwährend darauf hingewiesen werden, wo und warum die eine oder die andere Methode den Vorrang verdient. Hier genügt es, wenn wir erwähnen, daß die Dauerisolierungsmethode bei qualitativen Forschungen auf dem Gebiete der Verdauungssekretionen eine zweckmäßigere Verwendung findet, während die Temporärisolierungsmethode bei entsprechenden quantitativen Forschungen vorzuziehen ist. Außerdem gibt es ein Gebiet, auf welchem die erste Methode gar keine Anwendung finden kann. Hierher gehören Fragen, welche die Resorption und den Chemismus der Verdauungsprozesse in vivo betreffen.

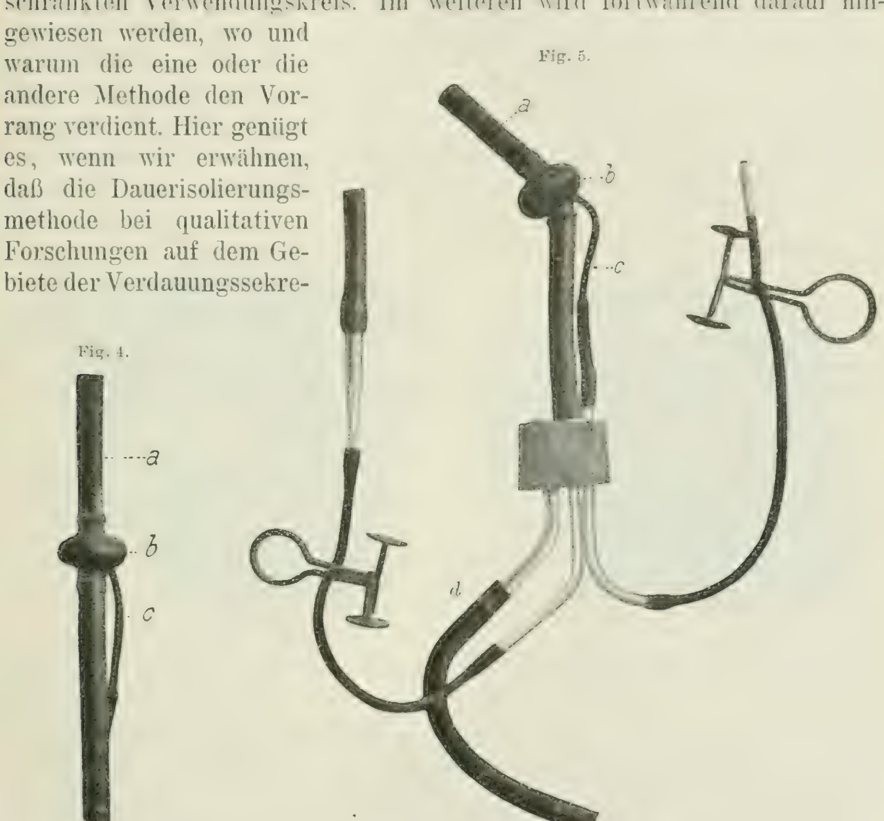


Fig. 4.

a Einleitungsröhre, *b* Ballon, *c* Aufblähungsröhre.

Fig. 5.

Ballonapparat. *a*, *b*, *c* wie in Fig. 4. *d* Ableitungsrohr für die betreffende Ausscheidung.

Der Methodologie der Temporärisolierungsmethode liegt die Anbringung von möglichst großen, zuweilen besonders eingerichteten und verteilten metallischen Fistelkanülen an verschiedenen Gebieten des Verdauungstractus zugrunde.

Dastre[1]) hat als erster eine Operationsmethodik zur Anbringung von lateralen Fisteln vorgeschlagen. Es handelte sich um die Gallenblase, später jedoch wandten verschiedene Autoren (*Glinsky*[2]) u. a.) dieselbe Methode am Darme an. Diese Methode konnte jedoch in der Gestalt, wie sie von den genannten Autoren und nach ihnen auch noch von anderen angewandt wurde, den Zwecken der Temporärisolierungsmethode nicht dienen. Die Methode erfordert nämlich, daß die Fistelkanüle diejenigen Darmabschnitte, welche sie zu trennen hat, ganz und gar voneinander isoliert; so lange sie vermittelst eines Stopfens geschlossen ist, findet keine Störung der Integrität und vollkommenen Permeabilität des Verdauungskanals statt; sowie jedoch der Stopfen entfernt wird, kommt es gleichsam zu einer Durchtrennung des Kanals am betreffenden Orte. Zu diesem Zwecke ist es selbstverständlich erforderlich, daß die Fistelkanüle in jedem Falle breiter

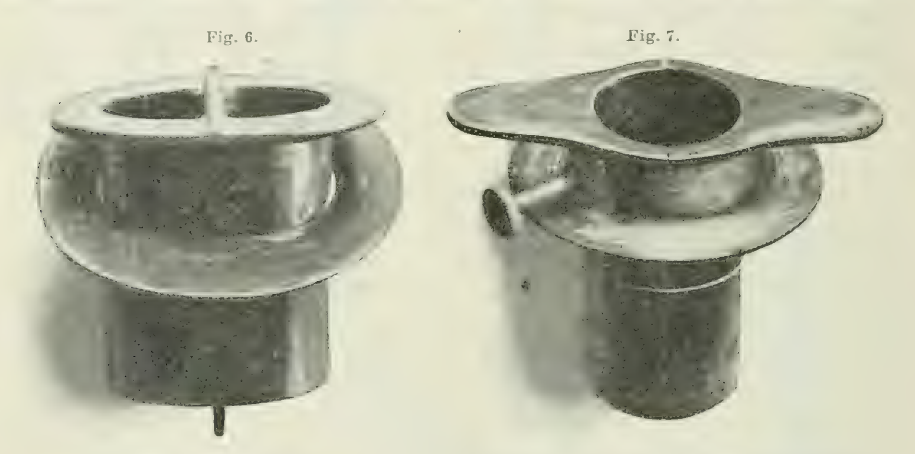


Fig. 6. Zweikammerige Darmröhre.

Fig. 7. Zerlegbare Fistelröhre zum Ersatz einer herausgefallenen Röhre.

sei als wie das Darmlumen, und daß sie so eingerichtet und gelagert sei, daß nichts über die betreffende Grenze durchgelassen werde. Aus diesem Grunde mußte eine besondere Zweikammerkanüle (Fig. 6) ersonnen, die gewöhnliche Einkammerkanüle aber sowohl in ihrer äußeren Form als auch in ihren Dimensionen modifiziert werden (Fig. 9). Entsprechend der neuen Form von Fistelkanülen mußte auch die operative Methodik ihrer Anlegung verändert werden. Daß die neue Operationsmethodik die Ausarbeitung neuer Versuchsanordnungen nach sich bringen mußte, versteht sich von selbst und diesbezügliche Angaben finden sich weiter unten.

Der beschriebenen Methodik liegt das Prinzip einer entweder temporären oder permanenten Isolation des zu studierenden Abschnittes des Verdauungsapparates zugrunde.

[1]) *Dastre*, Opération de la fistule biliaire. Recherches sur la bile. Archives de Physiologie, Vol. 2 (1890).

[2]) *Glinsky*, Zur Physiologie des Darmes. 1891 (russische Dissertation).

Es gibt jedoch eine Reihe von Fragen, welche mit Hilfe dieser Gruppe von methodischen Verfahren allein nicht studiert werden können. Hier wäre z. B. die Frage von der nicht zu ersetzenden Rolle irgend eines vereinzelten Organs im allgemeinen System des Verdauungsapparates zu nennen. Es liegt eben im Wesen dieser Frage, daß sie in jedem einzelnen Falle nur durch vollständige temporäre oder permanente Außertätigkeitsetzung des betreffenden Organs oder eines Teiles desselben gelöst werden kann.

Für die temporäre Ausschaltung irgend eines Teiles des Verdauungsapparates leistet dasselbe operativmechanische Verfahren, welches den Inhalt der Temporärisolierungsmethode bildet, gute Dienste, für die permanente Ausschaltung aber sind laut Angaben der allgemein-chirurgischen Technik spezielle chirurgische Methoden ausgearbeitet.

Es versteht sich von selbst, daß es im Interesse eines umfassenden Studiums der überaus komplizierten Tätigkeit des Verdauungsapparates liegt, daß Versuche, bei welcher auch andere Organe, die scheinbar gar

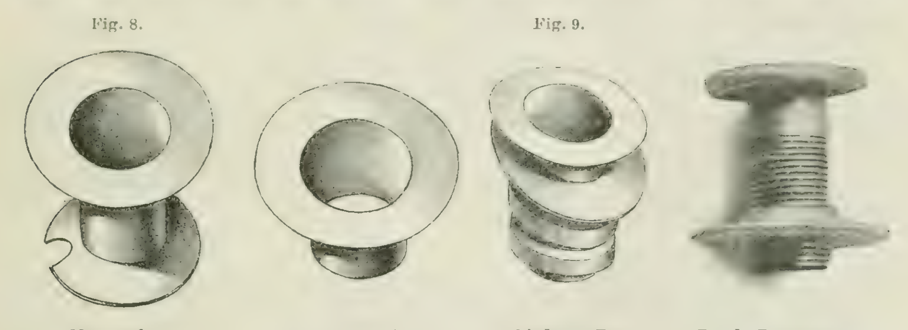


Fig. 8. Magenröhre. Fig. 9. Ovale Darmröhren von verschiedener Form. Runde Darmröhre.

keine direkte Beziehung zu dem Verdauungsapparate haben, wie z. B. die Milz, die Schilddrüse, die Nebennieren usw., aus dem Organismus zu entfernen sind, vorgenommen werden.

Die Untersuchungen, welche in dieser Richtung von *E. S. London*[1]) vorgenommen worden sind, verfolgten zweierlei Zwecke. Einmal sollte die Teilnahme verschiedener partieller Mechanismen an dem Gesamtsystem des Verdauungsapparates festgestellt werden, andrerseits sollte nachgewiesen werden, wie der Organismus in pathologischen Fällen, wo beständig die Tätigkeit verschiedener partieller Mechanismen eingeschränkt oder auch ganz aufgehoben ist, seine Verdauungsarbeit gestaltet.

Faßt man alles in diesem allgemeinen Teile Gesagte zusammen, so ergibt sich hieraus folgendes:

In der Entwicklungsgeschichte der Methodologie, welche die Verdauungs- und Resorptionsprozesse von Nährsubstanzen zu studieren hat, kann man 3 Hauptperioden unterscheiden:

---

[1]) *E. S. London,* Defekte Verdauung und Resorptien. Zeitschrift für physiologiche Chemie (1911), Bd. 74.

1. Die spekulative Periode, welche der Wissenschaft keine wesentlichen Früchte gezeitigt hat.

2. Die Periode zufälliger Beobachtungen und Experimente in vitro, welche einen dauerhaften Grundstein zu dem betreffenden Abschnitte der Physiologie gelegt hat.

3. Die Periode der operativen Methoden, welche zum Aufbau des ganzen gegenwärtig bestehenden Gebäudes der Verdauungsphysiologie und -pathologie geführt hat.

Zu der Entwicklung dieser Methodologie dienten als Hauptdirektionsmomente konsekutiv folgende:

1. Die zufällige Magenfistel bei dem canadischen Jäger *(Beaumont)*.

2. Die künstliche Anlegung einer Magenfistel beim Hunde *(Bassow* und *Blondlot)*.

3. Die Isolierung eines Darmabschnittes *(Thiry)*, was der Dauerisolierungsmethode als Anfang diente.

4. Die Transplantation von Drüsengängen nach außen *(Heidenhain* und in erster Linie *Pawlow*, *Glinsky)*.

5. Die Anbringung einer lateralen Kanüle *(Dastre)*.

6. Die Anbringung von großen einkammerigen und zweikammerigen Darmfisteln *(London)*, womit die Temporärisolierungsmethode ihren Anfang nahm, und

7. die Einführung der Methode einer temporären oder permanenten Ausschaltung *(London)*.

* * *

In der angegebenen allgemeinen Übersicht haben wir die klinische Methodik nicht berührt, weil sie sich selbständig, unabhängig von der Laboratoriumsmethodik entwickelt hat. In dem nun folgenden speziellen Teile wird auch die klinische Seite gewissermaßen Berücksichtigung finden.

* * *

Nachdem wir den allgemeinen Entwicklungsgang der Methodologie übersehen haben, wollen wir zur Betrachtung der speziellen methodologischen Verfahren übergehen.

A. Gewinnung von Verdauungssäften.

1. Allgemeine Bemerkungen.

Seitdem unwiderleglich bewiesen wurde, daß die Verdauung nicht einen physischen Prozeß der Speiseabkochung, nicht einen mechanischen Prozeß der feinsten Nahrungszerkleinerung, sondern einen chemischen Prozeß, welcher durch das Vorhandensein von besonderen Enzymen im Sekret der Verdauungsdrüsen bedingt ist, darstellt, richteten die Forscher ihr Hauptaugenmerk auf die Gewinnung dieser Säfte in möglichst natürlicher Gestalt. Seitdem sind 60 Jahre, in deren Verlauf die Wissenschaft

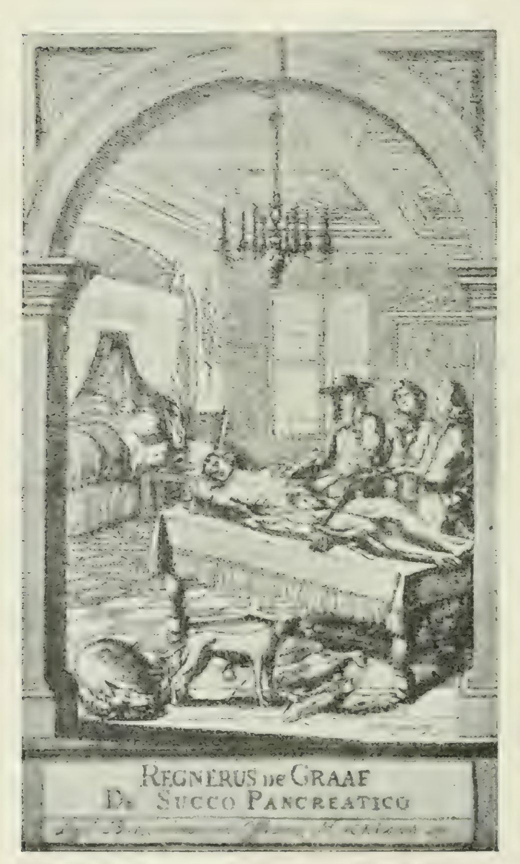
in der genannten Richtung kolossale Fortschritte gemacht hat, verstrichen. Die Aufgabe könnte als gelöst gelten, wenn eine Methode zur Gewinnung der einzelnen Verdauungssäfte in der natürlichen Gestalt, in welcher sie von den Drüsen in der Periode des Verdauungsprozesses auf die Nahrung ergossen werden, ausgearbeitet wäre. Dieses ist jedoch noch bei weitem nicht erreicht. Es handelt sich nämlich darum, daß die Verdauungssäfte einen konstanten qualitativen, jedoch einen inkonstanten quantitativen Bestand aufweisen. Die verschiedenen Elemente der Verdauungssäfte werden in ihrer Ausscheidung durch verschiedene Faktoren reguliert. Der Saft, welcher während des Verdauungsprozesses ausgeschieden wird, ist das Produkt einer kombinierten Wirkung verschiedenartiger chemischer und nervöser Faktoren, von denen ein Teil bereits bekannt, ein anderer jedoch noch sehr wenig erforscht ist. Außerhalb der Verdauungsperiode, spontan, d. h. unter Einwirkung von Faktoren, welche aus uns unbekannten Gründen in Tätigkeit treten, äußern von Zeit zu Zeit verschiedene Verdauungsdrüsen im Laufe eines mehr oder weniger bedeutenden Zeitraumes ($1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden) ihre Sekretionstätigkeit. Ebenso gestattet es die gegenwärtige Methodik, mit Hilfe verschiedener experimenteller stimulierender Agenzien die Verdauungsdrüsen zur Tätigkeit anzuspornen. All das gibt uns zum Studium der natürlichen Verdauungssäfte, d. h. der Säfte, welche von den natürlichen Drüsenapparaten ausgeschieden werden, freien Zutritt. Da eine jede Drüse auf einen jeden, dieselbe treffenden Reiz mit ihrer spezifischen Sekretion reagiert, so gestatten uns also diese natürlichen Säfte eine durchaus zutreffende Vorstellung über den qualitativen Bestand der im Laufe des Verdauungsprozesses von ihnen sezernierten Flüssigkeiten. Der quantitative Teil des Prozesses aber bleibt immer noch in gewissem Sinne eine Frage der Zukunft. Diese Frage hat, wie es scheint, ihre Lösung hauptsächlich von Seiten der Chemie, welche vielleicht eine Methode zur Trennung der Bestandteile des Chymus, der aus verschiedenen Abschnitten des Magendarmkanals entnommen ist, ausfindig machen wird, zu erwarten.

Wenn uns die natürlichen Verdauungssäfte, welche auf experimentellem Wege bei lebenden Tieren aus den Ausführungsgängen gewonnen werden, in vollem und genauem Maße mit den qualitativen Eigenschaften der Flüssigkeiten, welche von Verdauungsdrüsen auf den Chymus im Laufe des Verdauungsprozesses ergossen werden, bekanntmachen, so dürfen wir dieses noch lange nicht von den künstlichen Säften, welche durch Extraktion der entsprechenden Drüsengewebe gewonnen werden, behaupten. In derartige Extrakte gelangen vor allem unabwendbar viele Beimengungen aus verschiedenen Gewebselementen, welche im Bestand der Drüsen enthalten sind und an der Sekretionstätigkeit der Drüse keinen Anteil nehmen; außerdem scheiden die sezernierenden Gewebselemente bei weitem nicht alle ihre Fermentagenzien in die von ihnen ausgeschiedene Flüssigkeit ab. Wenn man also Versuche beabsichtigt, welche die unter natürlichen Bedingungen in vivo obwaltenden Verhältnisse aufklären sollen, so muß man nicht künstliche Extrakte, sondern natürliche Säfte anwenden.

2. Der Speichel.

Der Speichel stellt ein Drüsensekret dar, welches ganz besonders leicht zugänglich und auch in seinem Bestande am einfachsten ist, und deshalb braucht es nicht zu verwundern, wenn er von allen Verdauungssäften am frühesten in verhältnismäßig reiner Gestalt gewonnen worden ist und sowohl von physiologischer, als auch von physiologisch-chemischer Seite eine richtige Beleuchtung erhalten hat.

Fig. 10.



Schon im Jahre 1831 hat *Leuchs*[1]) nachgewiesen, daß der Speichel einen besonderen Gärstoff, welcher auf Stärke verdauend einwirkt, enthält, der erste Versuch aber, beim Hunde einen reinen Speichel direkt aus dem Ausführungsgange der Drüse zu gewinnen, ist allem Anscheine nach schon im XVII. Jahrhundert gemacht worden. Wenigstens ist auf einer der Tafeln, welche dem Werke von *De Graaf*[2]) beigegeben sind, ein Hund abgebildet, welchem eine in einen besonderen Behälter mündende Kanüle in den Ductus Stenonianus eingeführt worden ist (Fig. 10). Da jedoch im Texte des Werkes gar keine bestimmten Angaben über diese Frage zu finden sind, so muß man *de Lachenay*[3]) als den ersten Forscher, welchem ein reines Sekret der Speicheldrüse zur Verfügung stand, ansehen. Er hat als erster den Ausführungsgang der Gl. parotis entdeckt und aus diesem das reine Sekret dieser Drüse, welches er sodann einer Untersuchung unterwarf, gewonnen. Diese Methode zur Gewinnung von reinem Speichel vermittelst einer Kanüle, welche im akuten Versuche in den Ausführungs-

---

[1]) *Leuchs*, *Küstners* Archiv. 1831; vgl. *Frerichs'* Aufsatz „Verdauung" in *Wagners* Handwörterbuch der Physiologie, Bd. 3, Bd. 1, S. 768.

[2]) *Regnerus de Graaf,* De succi pancreatici natura et usu. Lugduni-Batavorum 1671.

[3]) *De Lachenay*, vgl. *Claude Bernard,* Leçons de physiologie opératoire. 1879, p. 501.

Fig. 11.

a Gl. parotis. *a'*, *a''* Gl. muciparés. *b* Ductus Stenonianus.

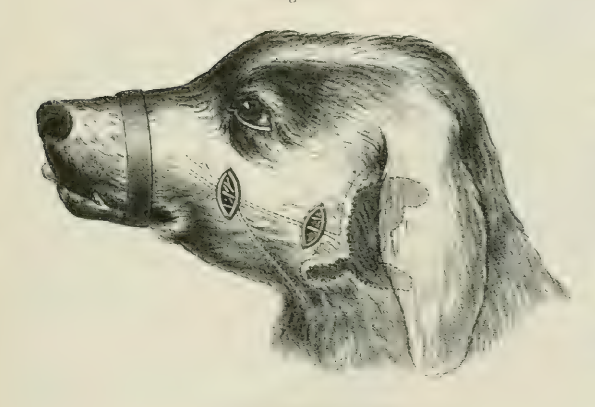
Fig. 12.

Gl. parotis beim Pferde.

Fig. 14.

Speichelsonden verschiedener Größe *(A, B, C)* und Breite *(a, b, c)* nach *Cl. Bernard*.

Fig. 13.

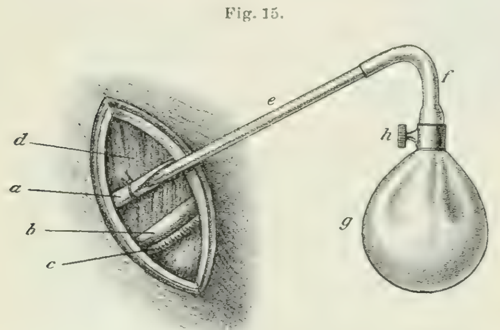


Gl. parotis beim Hunde.

gang eingeführt worden ist, hat dank *Cl. Bernard*, welcher sie in weitem Maßstabe an einer großen Reihe von Tieren verschiedener Gattungen anwandte, ihr Bürgerrecht erhalten. Dieser Autor hat unter anderem hervorgehoben, daß man bei Gewinnung von reiner Speichelflüssigkeit aus dem Ausführungsgange notgedrungen mit dem Umstande zu rechnen hat, daß in denselben Ausführungsgänge von Schleimdrüsen einmünden, wie das auf Fig. 11 abgebildet ist. Die Beziehungen des Ausführungsganges der einzelnen Speichel-

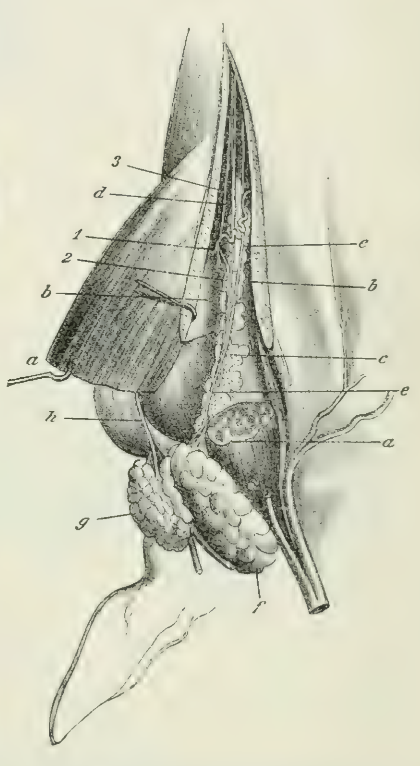
drüsen zu den umgebenden Teilen beim Pferde sind auf Fig. 12, beim Hunde auf Fig. 13. 16 u. 17 wiedergegeben. Auf Fig. 14 sind die Stiletkanülen in der Gestalt, wie sie *Cl. Bernard* zur Gewinnung von Speichel gebraucht hat, abgebildet. An die Kanülen wurden Säckchen, in welche der Speichel abfloß (Fig. 15), angeheftet. *Eckhard*[1]) übertrug diese Methode von Tieren auf den Menschen. Ein Unterschied besteht nur darin, daß die Kanüle nicht in den isolierten und aufgeschnittenen Ausführungsgang, sondern in dessen natürliches Lumen von der Mündung aus eingeführt wird. Dieses wird in der Weise vorgenommen, daß man dem Menschen bei guter Beleuchtung den Mundwinkel nach vorn und

Fig. 15.



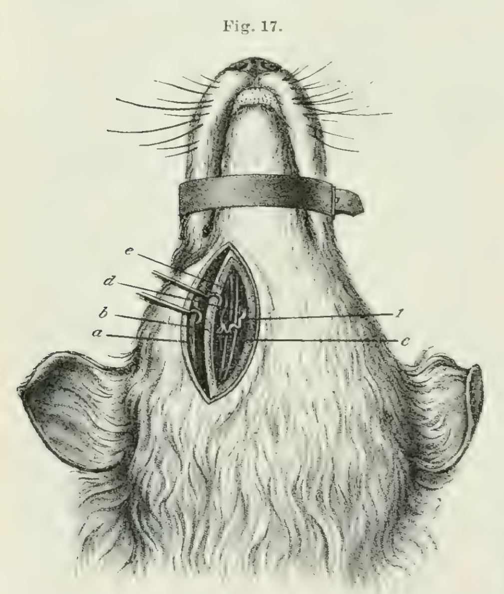
Speichelfistel der Gl. parotis.
a Ductus Stenonianus. *b* Ramus N. facialis. *c* A. facialis. *e* Speichelkanüle. *f, g, h* Rezipient für den Speichel.

Fig. 16.



a M. digastricus. *b* M. mylo-hyoïdeus. *c* Gl. sublingualis. *d* Ductus gl. sublingualis. *f—g* Gl. submaxillaris. *e* Ductus gl. submaxillaris. *1* N. lingualis. *2* Ramus salivalis.

Fig. 17.



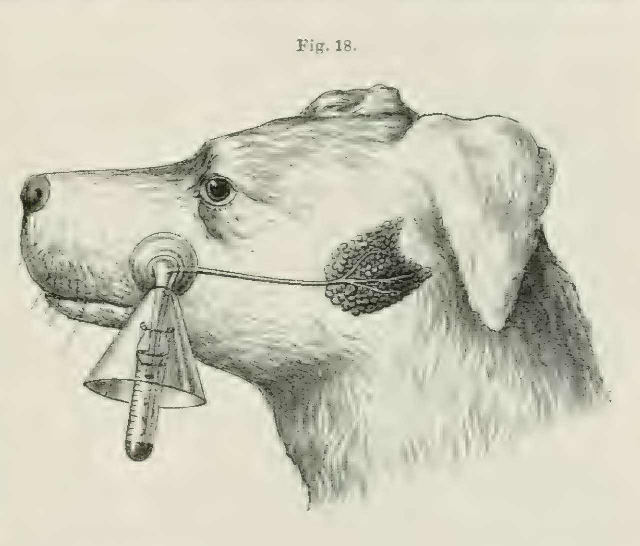
a M. digastricus (seziert). *b* M. mylo-hyoïdeus (seziert). *c* Ductus Whartonianus. *d* Ductus gl. sublingualis. *1* N. lingualis.

[1]) *Eckhard*, Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bd. 2, S. 205.

außen abduziert. In diesem Falle gewahrt man dem zweiten oberen Backenzahn gegenüber an der Innenfläche der Wange die Mündung des Ductus Stenonianus, welche man eine Silbersonde passieren läßt.

In bezug auf den Menschen ist diese Methode der temporären Sondeneinführung bis jetzt die einzige, unter gewöhnlichen Verhältnissen zugängliche. In der Laboratoriumspraxis dagegen hat sie sich nur für Vivisektionsversuche als brauchbar erwiesen. Will man bei einem vollständig gesunden Tiere Speichel gewinnen, so greift man lieber zur Dauerisolierungsmethode nach *Glinsky*.[1]) Das Wesentliche dieser Methode besteht darin, daß man die Papille des betreffenden Ausführungsganges samt einem kleinen Stück der umgebenden Schleimhaut ausschneidet und durch einen kleinen lateralen Schnitt an die Außenfläche der Wange transplantiert und hier mit einigen Nähten fixiert. Der von der Drüse ausgeschiedene Speichel wird, falls erforderlich, in besondere Behälter aufgefangen (Fig. 18).

Fig. 18.



So nahe die Speichelflüssigkeit, welche nach *Glinskys* Methode gewonnen wird, zur normalen steht, ebensowenig gleicht ihr die Flüssigkeit, welche durch Extraktion der Drüse selbst gewonnen wird. Die Extraktion wird vermittelst Wasser und Glyzerin vorgenommen. Der künstliche Speichel hat, wie übrigens auch alle sonstigen künstlichen Verdauungssäfte, natürlich gegenwärtig nur ein historisches Interesse.

Magensaft.

Réaumur war der erste Forscher, welcher aus dem Magen von lebenden Tieren unter natürlichen Bedingungen Magensaft gewann. Ihm folgten vor allem *Spallanzani*, später auch noch andere. Die Methode bestand darin, daß man Tiere durchlöcherte hohle Kugeln, in denen Schwammstückchen enthalten waren, schlucken ließ. Aus den per os ausgeschiedenen Schwämmen wurde sodann die von ihnen aus dem Magen aufgesogene Flüssigkeit, welche man als Magensaft ansah, ausgepreßt. Es

[1]) *Glinsky*, Zur Methodik des Studiums der Speichelsekretion. Verhandl. d. Gesellschaft russischer Ärzte zu St. Petersburg, 1894, S. 340.

versteht sich von selbst, daß diese Schwämme außer dem Magensaft auch noch Speichel, zuweilen auch Pankreassaft allein oder mit Galle, welche aus dem Darm regurgitiert worden war, untermengt, enthielten.

Réaumurs Methode konnte jedoch keine allgemeine Verwendung finden, da nur ganz ausnahmsweise Tiere, nämlich Raubvögel, die im Magen nicht verdaubaren Substanzen per os von sich geben. Dieser Umstand bewog *Tiedeman* und *Gmelin*[1]), die Methode in dem Sinne zu modifizieren, daß man Tiere auf nüchternen Magen Stückchen von unlöslichen porösen Substanzen schlucken ließ, worauf sie nach Verlauf einiger Zeit getötet, die im Magen befindlichen Stückchen aber demselben entnommen wurden. Spätere Forscher wandten zu diesem Zwecke Schwammstückchen an. Daß in diesen Schwämmen sehr häufig Magensaft enthalten war, hierfür liefern die elementaren Errungenschaften der Physiologie, welche dank dieser im allgemeinen groben und unvollkommenen Methode erzielt wurden, einen Beweis. Die Unvollkommenheit der Methode wurde von vielen damaligen Gelehrten offen zugegeben, so daß einige von ihnen die Zulänglichkeit der durch sie erzielten Resultate direkt verneinten. So finden wir z. B. bei dem Berliner Professor *Schulz*[2]) eine Bemerkung, daß die Angaben von *Réaumur* und *Spallanzani* über Magensaft durchaus hypothetische sind, weil alles, was sie dem Magensaft zuschreiben, möglicherweise der Speichelflüssigkeit zukommt. Ein derartiger Skeptizismus erscheint gegenwärtig übertrieben, doch zu jener Zeit, als ein unvermengt reiner Magensaft nur als Gegenstand wissenschaftlicher Desiderata denkbar war, mußte ein solcher durchaus nicht unbegründeter Skeptizismus zur Vervollkommnung der Methodik anspornen.

Es ist schwer zu entscheiden, wie sich letztere ohne Mitwirkung eines Zufalls entwickelt hätte, jedoch spielte in dieser Beziehung der klinische Fall *Beaumonts* eine entscheidende Rolle. *Beaumont* hatte die Möglichkeit, bei seinem Patienten die Magensaftsekretion ad oculos zu beobachten und bedeutende Magensaftquantitäten zu verschiedenen Versuchen zu gewinnen. Der Patient legte sich auf die rechte Seite; es wurde die die Fistel verlegende Klappe nach einwärts gestülpt und ein Gummirohr in den Magen hineingebracht; hierauf wurde der Patient auf die linke Seite gelegt, so daß die Fistel nach unten zu gerichtet war. Auf nüchternen Magen konnten 14—56 *g* Magensaft gewonnen werden.

Wenn die Saftsekretion nicht direkt zu beobachten wäre, so könnten Skeptiker annehmen, daß auch die Flüssigkeit, welche von *Beaumont* direkt aus dem Magen aufgesammelt wurde, weiter nichts sei als wie Speichel. Gegen unwiderlegliche Tatsachen ließ sich jedoch nicht ankämpfen, und bald fand *Beaumonts* Versuch an chirurgischen Kliniken, wo Patienten mit Magenfisteln vorkamen, Nachahmung. Außerdem wurde die Magen-

[1]) *Tiedemann* und *Gmelin*, Die Verdauung nach Versuchen. Heidelberg und Leipzig 1826.

[2]) *Schultz*, De Alimentorum concoctione experimenta nova. Berolini 1834.

fistel bald ein Hilfsmittel der experimentellen Methodik. Die Magenfisteloperation wurde zuerst von *Bassow* in Rußland und von *Blondlot* in Frankreich ausgeführt.

Bassows Methode bestand darin, daß man die Bauchwand an einer Stelle durchschnitt und den Magen mit den Wundrändern vernähte; später wurde in der Magenwand eine Öffnung angelegt, welche mit einem Schwamm geschlossen werden konnte. Das Mangelhafte der Methode bestand darin, daß erstens das Tier fortwährend Magensaft einbüßte und zweitens die Fistel mit der Zeit sich infolge von Narbengewebsschrumpfung spontan schloß. Diese beiden Mängel wurden durch die Modifikation, welche *Blondlot* vorschlug, beseitigt. Er brachte eine Kanüle, welche in die Fistel eingeführt wurde, um deren Vernarbung zu verhindern, und mit einem Pfropfen, der die Mageninhaltsausscheidung außerhalb des Versuches verhindert, geschlossen wurde, in Brauch. Die Operation selbst nahm *Blondlot* in zwei Etappen vor. Zuerst zog er den Magen durch einen Schnitt in der Medianlinie hervor und fixierte ihn mit einem Silberfaden, welcher durch die Magenwand hindurchgezogen und sodann um einen hölzernen Obturator, der an der äußeren Bauchwand angebracht war, gewunden wurde. Sobald nach einiger Zeit der Magen mit den Rändern der Bauchwunde verwuchs und die Adhäsionen narbig schrumpften, wurde die Magenwand aufgeschnitten und in dem Einschnitt die Kanüle fixiert.

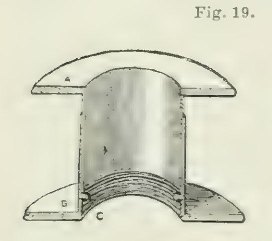
Bald darauf merkte *Blondlot*, daß seine Methode zu Komplikationen, welche die Entfernung der Kanüle nötig machen, führt. Diese Komplikationen sind entzündlicher Natur und werden durch den von der Kanüle in der Wunde gesetzten Reiz hervorgerufen; wird die Kanüle nicht entfernt, so tritt Nekrose der Wundränder ein, und das Tier geht zugrunde. Infolgedessen wandte er eine neue Methode der Magenfisteloperation, bei welcher ein beweglicher Obturator benutzt wurde, an. Diese Methode besteht in folgendem: Es wird dem Tiere die Bauchhöhle eröffnet und eine adhäsive Entzündung, als deren Folge Verwachsung des Magens mit den Wundrändern stattfindet, hervorgerufen. Nach einiger Zeit läßt man das Tier einen Endknoten eines Bindfadens, dessen anderes Ende aus dem Maule heraussteckt, herunterschlucken. Durch einen Einschnitt in der Magenwand wird sodann der Endknoten, welcher sich im Magen befindet, mit der Pinzette gefaßt und aus der Magenhöhle nach außen gebracht. Weiter wird der Obturator an das äußere Ende angeheftet und vermittelst des Bindfadens bis in die Magenwunde gezogen. Man kann den Obturator nach Wunsch in der Wunde lassen oder ihn auch in den Magen hineinbringen.

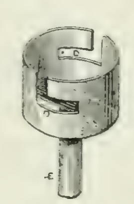
Die ungenügende Sicherheit und technische Schwierigkeit dieser Methode bewog *Cl. Bernard*, sie nach seiner Art zu ändern. Er läßt den Hund viel Nahrung zu sich nehmen, um den Magen zu erweitern, und eröffnet nach 1—2 Stunden denselben in der Mittellinie; hierauf wird eine Metallkanüle in die Magenwunde gebracht und diese mit einigen Nähten an den Wundrändern fixiert. Hierdurch wird eine bedeutende Abkürzung der Operation erzielt, denn anstatt zweier Male operiert man

hier nur einmal. *Cl. Bernard* modifizierte auch die Kanüle selbst, indem er sie beweglich machte. Sie bestand aus zwei Hälften, von denen die eine vermittelst eines speziellen Schlüssels in die andere hineingeschraubt wurde (Fig. 19). Diese Modifikation bezweckte, dem Wundrande bei seiner Schwellung nach der Operation infolge von Entzündung einigen Spielraum zu geben.

Die folgenden Experimentatoren hielten im allgemeinen an der Methodik *Cl. Bernards* fest, es wurden nur noch weitere Vereinfachungen vorgenommen. So verzichtete *Holmgren* [1]) auf eine Operation bei gefülltem Magen und operierte am leeren Magen, welcher vermittelst eines durch den Schlund eingeführten Katheters mit Luft aufgeblasen wurde. *Heidenhain* operierte am leeren Magen sogar ohne ihn aufzublasen. Die zweiteilige Fistel wurde auch aufgegeben und durch eine einfache mit zwei unbeweglichen Ringen und einer Schraubenwindung an dem einen derselben ersetzt.

Fig. 19.





Je mehr sich das Studium des Magensaftes erweiterte, um so lebhafter fühlten verschiedene Forscher das Bedürfnis nach einem vollkommen reinen, gar keine Beimengungen enthaltenden Safte. In den Magen, welcher direkt mit Speiseröhre und Duodenum zusammenhängt, gelangen fortwährend aus diesen beiden Hohlräumen verschiedene Substanzen. Es ist also klar, daß man, um ganz reinen Magensaft zu erzielen, den Zutritt von Beimengungen von beiden Seiten aus verhindern mußte. Gegen die höher gelegenen Organe hin gelang das ohne weiteres. *Bardeleben* [2]), *Bidder* und *Schmidt* [3]) legten, um den Speichel nach außen abzuleiten, Speichelfisteln an. *J. P. Pawlow* und *G. Schumowa-Simanowskaja* [4]) aber führten zu diesem Zwecke die Oesophagotomie aus (Fig. 20). Vom Duodenum aus kann der Magen vermittelst einer unterhalb des Pylorus angelegten Fistel isoliert werden. Hierüber soll übrigens noch weiter unten die Rede sein.

Den reinsten Magensaft gewann als erster *Heidenhain*, welcher die Operation eines isolierten kleinen Magens mit Erfolg ausführte. Die Operation bestand darin, daß aus dem Fundusteile des Magens ein Lappen (Fig. 21), den man zu einem hohlen Sack zusammennähte, ausgeschnitten und dann die Mündung des Sackes mit der Bauchwunde vernäht wurde. Diese Operation ist später, was die technischen Details anbetrifft, zu besonderen Zwecken verschiedentlich modifiziert worden (*Pawlow*, *Bickel*), in ihrem

---

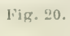
[1]) *Panam*, Pepsin und Magenfistelanlegung. *Malys* Jahresbericht. Bd. 1, S. 193.

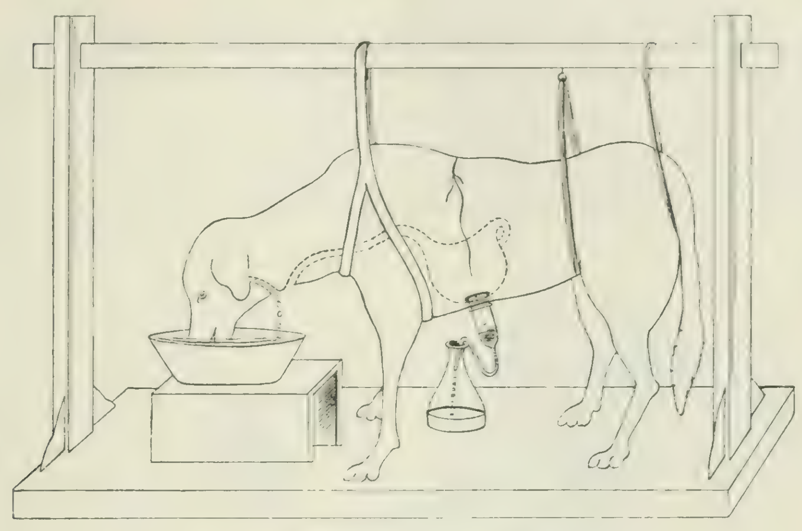
[2]) *Bardeleben*, Archiv f. physiol. Heilkunde. Bd. 8, 1849.

[3]) *Bidder* und *Schmidt*, Die Verdauungssäfte.

[4]) *J. Pawlow* und *E. Schumowa-Simanowskaja*, Die Innervation der Magendrüsen beim Hunde. Archiv f. Anat. u. Physiol., 1895.

Grundprinzip einer permanenten Isolation ist sie jedoch bis jetzt ein unersetzliches Mittel zur Gewinnung eines absolut reinen Saftes aus den verschiedenen Gebieten der Magendrüsen geblieben.

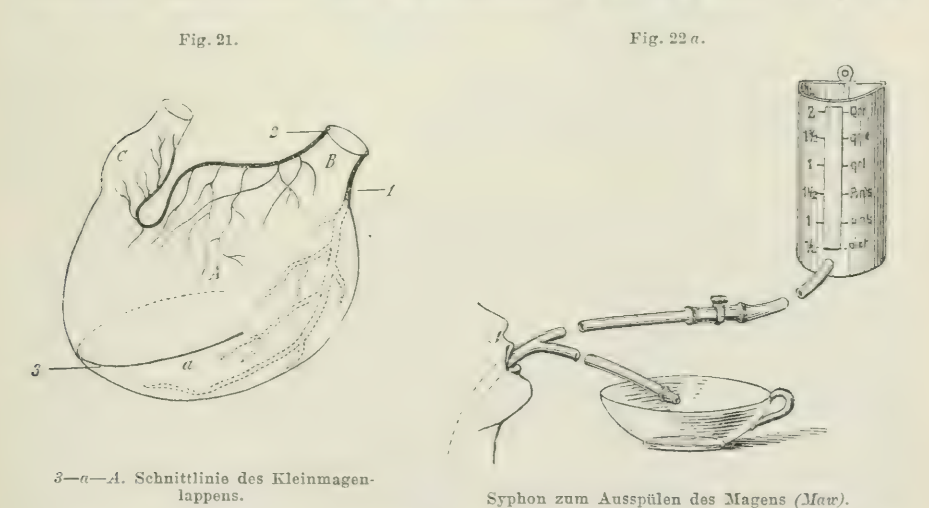

Fig. 20.



Magensaftgewinnung unter Scheinfütterung.

Man kann einen beliebig großen Teil des Magens isolieren, so daß bedeutende Quantitäten reinen Saftes gewonnen werden können. Da jedoch

Fig. 21. Fig. 22 *a*.



3—a—A. Schnittlinie des Kleinmagenlappens.

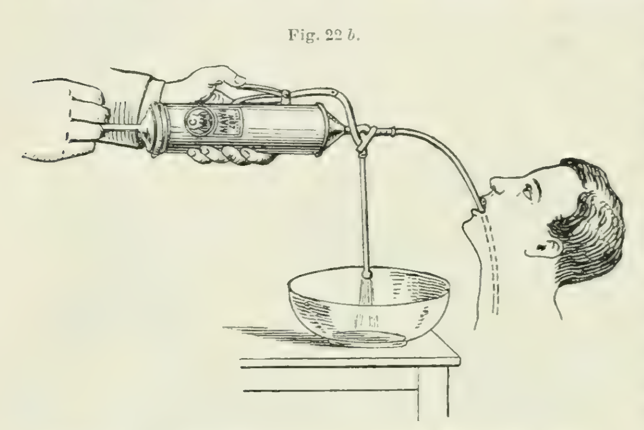
Syphon zum Ausspülen des Magens *(Maw)*.

derartige Hunde einer speziellen Pflege bedürfen, die von ihnen zu gewinnenden Magensaftquantitäten aber in gewissem Sinne begrenzte sind, so hat *J. P. Pawlow* für fabriksmäßige Produktion, wo eine besondere

physiologische Reinheit des Saftes nicht erforderlich ist, eine spezielle Methode ausgearbeitet. Einem möglichst großen Hunde wird an der Mittellinie des Bauches eine Magenfistel angelegt und nach einiger Zeit an ihm die Oesophagotomie ausgeführt.

Aufgefangen wird der Magensaft in folgender Weise (Fig. 20): Der Hund kommt in ein Gestell und es wird ihm ein Futterkorb mit Fleischstücken vorgesetzt. Die vom Hunde heruntergeschluckten Fleischstückchen fallen aus der oberen Speiseröhrenöffnung heraus und werden dem Tiere von neuem vorgelegt. Hieraus ergibt sich die Scheinfütterung, welche jedoch eine reichliche Magensaftsekretion hervorruft. Unter die Magenfistel kommt ein mit Glaswatte angefüllter Trichter, welcher den Schleim abfängt und der aus ihm abfließende reine Saft wird in einen Recipienten hingeleitet Im Laufe einer Sitzung (3—4 Stunden) kann man ca. 1 *l* Magensaft auffangen.

Fig. 22 *b*.



Methode der Magenentleerung mit Hilfe der Magenpumpe *(Mair)*.

Außerhalb seines Dienstes wird der Hund durch den unteren Speiseröhrenabschnitt künstlich gefüttert.

Die Kliniker besitzen ihre eigene Methode zur Gewinnung des Magensaftes beim Menschen. Sie benutzen zu diesem Zwecke die Schlundsonde, welche von *Ewald*[1]) und *Oser*[2]) zuerst angewandt worden ist (vergl. Fig. 22 *a, b*).

4. Pankreassaft.

Wenn das Vorhandensein eines Magensaftes, als besonderen Verdauungssekretes, von vielen Gelehrten bis zu den dreißiger Jahren des XIX. Jahrhunderts bezweifelt wurde, so herrschte in bezug auf den Pankreassaft als Träger der Verdauungsprinzipien der Bauchspeicheldrüse schon von der Mitte des XVII. Jahrhunderts an, als *Regnier de Graaf* (vergl. Fig. 10) experimentell dessen Vorhandensein nachwies, vollkommene Einigkeit. Die Methode, vermittelst welcher der genannte mittelalterliche Forscher den Pankreassaft gewann, zeichnete sich durch hervorragende Einfachheit aus und diente der gesamten späteren Methodik auf diesem Gebiete der ex-

---

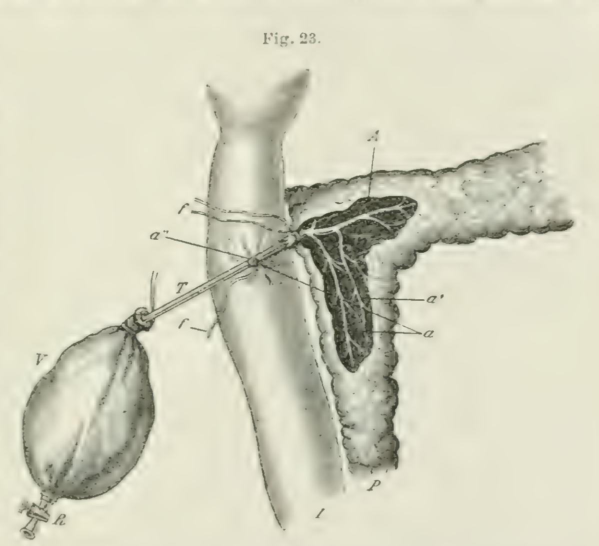
[1]) *C. v. Ewald*, Erklärung. Archiv f. Verdauungskrankheiten. 1911, Bd. 17, S. 95.

[2]) *Leopold Oser*, Nachruf. Archiv f. Verdauungskrankheiten. 1911, Bd. 16.

perimentellen Physiologie als Grundlage. Dieselbe besteht im wesentlichen darin, daß man das Duodenum eröffnet und von der Papille aus eine Kanüle einführt, durch welche der sezernierte Saft in einen Rezipienten geleitet wird.

Die folgenden Experimentatoren, *Tiedemann* und *Gmelin*, später auch *Cl. Bernard* modifizierten einige Details der Methode. Anstatt *Graafs* lateralem Schnitte am Rippenrande im rechten Hypochondrium machten sie den Schnitt in der Medianlinie. Anstatt des Federkiels, welchen *Graaf* benutzte, wandten sie eine Silberkanüle, welche in das Duodenum des Ausführungsganges nicht vom Duodenum aus, sondern außerhalb desselben durch einen künstlichen lateralen Einschnitt hineingebracht wurde, an (Fig. 23). *Cl. Bernard* heftete die Kanüle mit einer Naht ans Duodenum, letzteres aber an die Ränder der Wunde, welche ganz und gar vernäht wurde. Der Saft konnte im Laufe von mehreren Tagen nach der Operation gesammelt werden. Längere Zeit konnte jedoch die Kanüle nicht fixiert werden und sie fiel aus der Wunde heraus. Es mußte augenscheinlich eine spezielle Methode zur Anheftung der Kanüle im Ausführungsgange ersonnen werden.

Fig. 23.



Kanüle *(T)*, welche in den pankreatischen Gang *(a)* eingeführt und an die Darmwand befestigt worden ist *(t)*.

Heidenhain wandte zu diesem Zwecke folgenden Kunstgriff an: Er führte eine geknöpfte gläserne Kanüle in den Ausführungsgang ein und heftete sie mit einem Faden an; an dem freien Ende der Kanüle wurde ein dickwandiges Gummirohr, welches durch die Bauchwunde nach außen stak, angebracht. Das Duodenum wurde vermittelst provisorischer Schleifen oberhalb und unterhalb des Ductus an die Ränder der Wunde, welche sodann vernäht wurde, angeheftet. Doch auch dieser Operationsmodus erwies sich als unzulänglich, weil die Kanüle nichtsdestoweniger im Laufe des 2. bis 3. Tages nach der Operation herausfiel.

Dieser Umstand bewog *Ludwig* [1, 2]), eine sichere Methode zu ersinnen Er steckte durch eine laterale Öffnung im Ductus pancreaticus einen Zinn-

---

[1]) *Ludwig* und *Weinmann*, Zeitschr. f. rat. Med. N. F. Bd. 3, 1853, S. 248.

[2]) *Ludwig* und *Bernstein*, Ber. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Math.-phys. Kl., 1869, S. 97.

draht einerseits nach dem Darme, andrerseits in den Ausführungsgang der Drüse durch; den mittleren Teil des Drahtes wandte er zu einer Schleife, welche er nach außen zog und in der Bauchwunde fixierte, um; provisorisch wurde natürlich auch der Darm fixiert.

Doch auch diese Methode zeitigte keine erfolgreichen Resultate, so daß *Heidenhain* [1]) sich entschloß, eine radikalere Methode nach dem Prinzip der Dauerisolierungsmethode anzuwenden. Er durchschnitt das Duodenum oberhalb und unterhalb des D. Wirsungianus, wobei die Entfernung zwischen den beiden Schnitten 4—5 *cm* betrug. Der ausgeschiedene zylindrische Duodenalabschnitt wurde in der Längsrichtung, dem Mesenterium gegenüber, durchschnitten und der hierdurch erzielte Lappen mit der Bauchwand vernäht. Auf diese Weise wurde die Mündung des Pankreasausführungsganges auf die Haut verlegt und dadurch die Möglichkeit geschaffen, lange Zeit hindurch den aus ihm ausfließenden Saft aufzufangen.

Pawlow hat gleichzeitig eine analoge Methode ausgearbeitet. Der Unterschied derselben von der *Heidenhain*schen besteht darin, daß anstatt eines ganzen Darmringes aus der Darmwand ein rhombischer Lappen in der Gegend der Mündung des Ausführungsganges, welchen man dann mit der Bauchwunde vernäht, ausgeschnitten wird. *London* transplantiert diesen Lappen nicht in die Bauchwunde, sondern in eine spezielle Öffnung, welche lateralwärts von der Wunde angelegt wird.

Diese Dauerfistelmethode erscheint gegenwärtig als die einzige, welche es gestattet, reinen Pankreassaft in der Gestalt, in welcher er vom Pankreas ausgeschieden wird, zu gewinnen. Die Methode der Saftgewinnung selbst kann eine zweifache sein: 1. entweder wird einige Zeit nach der Operation die nach außen verlegte Papille abgetragen (*Popielski* [2]), *Babkin* [3]) und fließt dann der von der Drüse abgeschiedene Zymogensaft als solcher, unverändert und nicht aktiviert ab; in der letzten Zeit soll *Popielski* [4]) diese Methode weiter verfeinert haben: 2. oder die Papille bleibt intakt, doch wird in diesem Falle, um die Aktivierung des zymogenen Saftes durch das Sekret des Darmschleimhautlappens zu verhindern, in den Ductus ein dünnes Glasröhrchen eingeführt. Im ersten Falle muß der Ausführungsgang alltäglich ein- bis zweimal sondiert werden, weil er sich sonst schließt und verwächst, im zweiten Falle aber ist gar keine Sondierung erforderlich.

Die zweite Methode bei der lateralwärts versetzten Papille ist die beste. Der Ausführungsgang wird durch die Muskeln der Bauchwand bei abwesendem Röhrchen fest geschlossen und der Saftabfluß gehindert.

---

[1]) *Heidenhain,* Physiologie der Absonderungsgänge. 4. Abschnitt. *Hermanns* Handbuch, Bd. 5, S. 179.

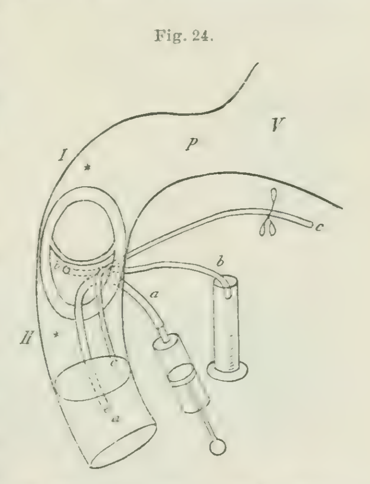
[2]) *Popielski,* Über die sekretionshemmenden Nerven der Bauchspeicheldrüsen (1896); russische Dissertation.

[3]) *Babkin,* Zur Frage der Sekretion der Pankreasdrüse. Nachrichten der militärmedizinischen Akademie zu St. Petersburg, S. 23 (1904).

[4]) *Popielski,* Bemerkungen betreffs der Methode der temporären Isolierung. Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. **71**, S. 186. (1911).

Bei Hunden, bei welchen der Hauptausführungsgang des Pankreas nach außen verlegt ist, findet allmähliche atrophische Degeneration der Drüse, welche allmählich zu einer Veränderung des Bestandes des sezernierten Saftes führt, statt. Es wäre also wünschenswert, über eine Methode zu verfügen, welche es gestattete, den Saft aus einer vollkommen intakten, durch die Operation in normalem Zustande und in normalen Beziehungen zu den benachbarten Organen belassenen Drüse zu gewinnen. Dieses kann bei Anwendung des Prinzipes der Temporärisolierungsmethode erzielt werden. Die Methode ist fürs erste noch nicht genügend ausgearbeitet und man muß gegenwärtig mit der Beschreibung ihres allgemeinen Schemas fürlieb nehmen. Legt man einem Hunde eine Duodenalfistel von genügenden Dimensionen an, so daß die Papille des Pankreashauptausführungsganges in der Mitte des Kanülenlumens zu liegen kommt so eröffnet letztere jedesmal nach Bedarf den Zutritt zum Ausführungsgange einer vollkommen normalen Drüse, wobei nach Beendigung des Versuches die Fistel geschlossen wird und sich vollkommen normale Verhältnisse einstellen.

Fig. 24.



V Magen. P Pylorus. I Erste Papille. II Zweite Papille, a Einleitungsrohr, b Ableitungsrohr, c Aufblähungsrohr.

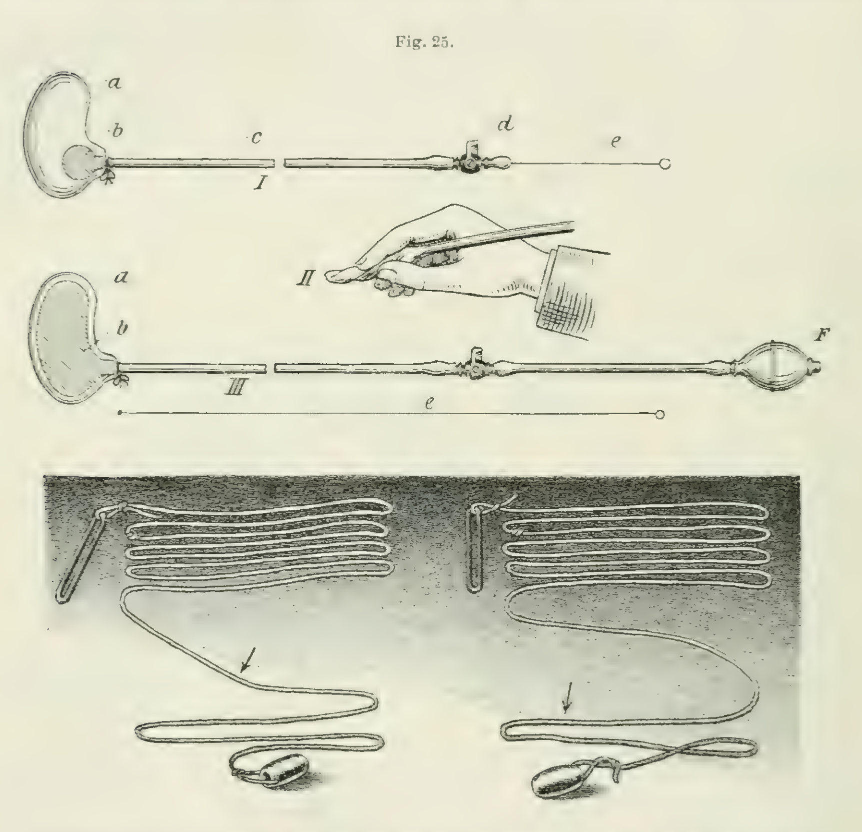
Handelt es sich um Gewinnung von nicht zymogenen, sondern auf natürlichem Wege aktiviertem Safte, so gestattet es die Temporärisolierungsmethode *(London)* in kurzer Zeit, beliebige Mengen von verschiedenem Bestande zu gewinnen. Die Methode besteht darin, daß dem Hunde eine Duodenalfistel angelegt wird, wobei die zweikammerige Kanüle in den Zwischenraum zwischen den beiden Hauptpapillen zu liegen kommt (Fig. 24). Bei einem derartigen Hund wird der Darmabschnitt um die weite Papille einerseits durch die Kanülenscheidewand, andrerseits durch den Ballon isoliert. Nach Aufblähung des Ballons wird in den Darm die eine oder die andere der die Pankreassaftsekretion erregenden Substanzen: Salzsäure, Lösung von Albumosen oder Peptonen in Salzsäure, Ölemulsion usw. eingespritzt. Der sezernierte Saft fließt nach außen in einen untergestellten Rezipienten durch das Ableitungsrohr ab (Fig. 25). Im Laufe einer Stunde kann man auf diese Weise 100—150 cm^3 Pankreassaft sammeln. Ist es wünschenswert, einen an festen Substanzen armen Saft zu gewinnen, so spritzt man Salzsäure (0·1%) in den Darm ein; wird eine Peptonlösung injiziert, so ergibt sich ein Saft mit mittelmäßigem Gehalt an festen Substanzen; bei Injektion von Fettprodukten ist der Saft sehr reich an festen Stoffen.

Kurz gesagt, gestattet es die moderne Methodik, den Pankreassaft sowohl in seinem zymogenen Zustande als auch in aktivem Zustande mit in gewissen Grenzen beliebigem Gehalt an festen Stoffen zu gewinnen.

Verfügt man über keinen Hund mit einer konstanten Pankreasfistel, so kann man zymogenen Saft bei einem narkotisierten Hunde aus dem Ausführungsgange vermittelst Injektion von Sekretin in den Darm erzielen.

Bei einem Menschen mit einer Fistel des Pankreasausführungsganges macht die Gewinnung von reinem Pankreassaft selbstredend keine besonderen

Fig. 25.



Duodenaleimerchen mit Fäden nach Nachtaufenthalt im Verdauungskanal des Patienten *a* nach gewöhnlicher Nahrung, *b* nach einwöchentlicher Behandlung mit strengflüssiger Kost. Der Pfeil zeigt den Anfang der blutgefärbten Stelle an. Der Magenpräger. *a* seidenes Gazesäckchen, *b* Gummiballon, *c* Schlauch, *d* Hahn, *e* Mandrin, *f* Blähballon. *I* Magenpräger-Ballon, *II* Gazesäckchen und Ballon um den Schlauch gefaltet und zur Einführung bereit, *III* Magenpräger mit gefülltem Gummiballon, sich den Umrissen des Gazesäckchens anschmiegend.

Schwierigkeiten. Ist keine Fistel vorhanden, so kann man den Saft nur in unreinem Zustande entweder nach *Volhard-Boldireffs* [1]) oder nach *Hemeters* [2]).

---

[1]) *Volhard,* Über das fettspaltende Ferment des Magens, Zeitschrift f. Klin. Medizin, Bd. 42, S. 414 (1901); Bd. 43, S. 323 (1901).

[2]) *John C. Hemeter,* Versuche über Intubation des Duodenum. Archiv f. Verdauungskrankheiten, Bd. II, S. 98.

Kuhns[1]), *Groß'*[2]) und hauptsächlich *Einhorns*[3]) Methode gewinnen. Im ersten Falle flößt man dem Menschen Olivenöl in den Magen und pumpt dessen Inhalt nach einigen Stunden aus. Die erhaltene Flüssigkeit besteht aus Magensaft im Gemische mit Pankreas- und Darmsaft sowie mit Galle. *Einhorn* gibt ein besonderes Gefäß mit einem Faden, mit dessen Hilfe man dasselbe nach Verlauf von einiger Zeit aus dem Duodenum zurückziehen kann, zu schlucken (Fig. 25).

5. Darmsaft.

Die Methodik der Gewinnung von Darmsaft weist eine sehr wenig komplizierte Geschichte auf.

Thiry war der erste, welcher ganz reinen natürlichen Darmsaft gewann. Er isolierte eine Darmschlinge, vernähte deren eines Ende, während das andere nach außen hervorgezogen und mit der Bauchwunde vernäht wurde. *Vella*[4]) modifizierte diese Methode in dem Sinne, daß er beide Enden mit der Bauchwunde vernähte; dieses ist in dem Sinne vorzuziehen, als es die Prolapsbildung erschwert, weil der isolierte Darmteil von zwei Seiten aus fixiert ist. *Vellas* Modifikation ist überall in Brauch.

Beobachtet man einen im Ständer stehenden Hund mit *Thiry-Vella*scher Fistel, so bemerkt man leicht, daß sich aus der Fistel von Zeit zu Zeit spontan Saft entleert. Er stellt eine opaleszente farblose Flüssigkeit, welche zahlreiche schleimige Flöckchen enthält, dar. Gewöhnlich wird zu Anfang fast reiner Schleim sezerniert, später fließt tropfenweise ein durchsichtiger heller, an Fermenten sehr reicher Saft ab. Die Sekretion dauert $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde fort, wonach sie auf 5—6 Stunden, zuweilen sogar länger stockt. Die Quantität des ausgeschiedenen Saftes hängt außer individuellen Eigenschaften des Hundes in bedeutendem Maße von der Topographie des ausgeschnittenen Darmabschnittes ab: vom Pylorus beginnend, wird die Sekretionstätigkeit des Darmes in der Richtung zum Coecum hin immer schwächer. Im Laufe von 12 Stunden erhält man aus dem Duodenum (20—25 *cm*) zirka 5—8 cm^3 aus dem mittlerem Jejunumabschnitte 3—5 cm^3, aus dem Ileum 2—4 cm^3.

Steckt man ein durchlöchertes Gummirohr in den Darm, so wird die Sekretion in sehr bedeutendem Maße verstärkt, jedoch wächst hier die Quantität auf Kosten der Qualität an: erstens ist dieser Saft bedeutend fermentarmer als wie jener, und zweitens enthält er stets eine größere oder geringere Blutbeimengung.

Der Saft, welcher in der einen oder der anderen Weise vermittelst dieser Dauerisolierungsmethode gewonnen wird, kann nicht mit demjenigen,

[1]) *Franz Kuhn*, Archiv f. Verdauungskrankheiten, Bd. III, S. 19 (1898).

[2]) *M. Groß, Oefele* und *M. Rosenberg*, Der menschliche Duodenalinhalt mit statistischen Vergleichstabellen in seiner klinischen Beurteilung. Wiener Klin. Woch., S. 1165 (1910).

[3]) *Einhorn*, Internationale Beiträge zur Physiol. u. Pathol. der Ernährungsstörungen. Bd. II.

[4]) *Vella*, Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Tiere. Bd. 12.

welcher normalerweise von der Darmschleimhaut sezerniert wird, als vollkommen identisch angesehen werden, und zwar erstens, weil der isolierte Darmabschnitt vom Momente der Operation an in der für den Darm normalen Weise zu leben aufhört, und zweitens, weil die durch Nerven vermittelte Kommunikation zwischen dem isolierten Darmteile und dem ganzen übrigen Darme ganz und gar zerstört wird. Daß wir es hier in der Tat mit einem Safte besonderer Art zu tun haben, beweist die alltägliche Beobachtung, daß seine sowohl spontane als auch durch mechanischen Reiz hervorgerufene Sekretion von der Arbeit des Verdauungsapparates durchaus in keiner Abhängigkeit steht: sowohl außerhalb als auch innerhalb der Verdauungsperiode findet die Saftsekretion nach einem Typus statt. Es kommt sogar nicht selten vor, daß die auf nüchternen Magen beginnende spontane Sekretion nach der Nahrungsaufnahme stockt.

Die erwähnten Mängel fehlen bei Gewinnung von Darmsaft nach der Temporärisolierungsmethode. Das Wesentliche dieser Methode besteht darin, daß eine Darmfistel mit zweikammeriger Kanüle (Fig. 6) angelegt wird. Die orale Hälfte der Kanüle dient zum Abfluß des Sekretes aus dem höher gelegenen Abschnitte des Verdauungstractus. Durch die anale Hälfte der Kanüle wird ein Ballon in den Darm eingeführt und aufgeblasen. Auf diese Weise wird ein beliebiger Darmabschnitt, aus welchem man im Laufe des Verdauungsprozesses Darmsaft gewinnen kann, isoliert. Es versteht sich von selbst, daß, ehe man hierzu schreitet, der betreffende Darmabschnitt gründlich mit Wasser durchgespült werden muß, damit die Darmschleimhaut von den an ihr haftenden Partikeln befreit wird. Dem Tiere wird irgend eine Nahrung eingeflößt, sodann wird der aus dem oralen Teile abfließende Chymus mit Methylenblau gefärbt und durch das Einleitungsrohr weiter in den Darm befördert. Der abgeschiedene Darmsaft wird durch das Ableitungsrohr nach außen sezerniert. Die Färbung des Chymus ist in der Beziehung von Nutzen, als wenn der Ballon den injizierten Chymus zufällig zurückfließen lassen würde, dieses sofort auf die Färbung des sezernierten Saftes einwirken müßte: statt seiner weißlichen Färbung nimmt er eine blaue an.

6. Galle.

Die Galle stellt den einzigen Verdauungssaft dar, welcher bei den meisten Tieren beständig in einem besonderen Behälter, der Gallenblase, vorrätig ist. In einem frischen Kadaver kann man folglich stets eine gewisse Menge frischer Galle gewinnen. Will man jedoch Galle beim lebenden Tiere gewinnen, so muß man zu einer der beiden Fistelmethoden, der Dauer- oder der Temporärisolierungsmethode seine Zuflucht nehmen.

Schwann[1]) war der erste, welcher die Methode einer künstlichen permanenten Fistel zur Gewinnung von Galle beim Tiere anwandte. Er

---

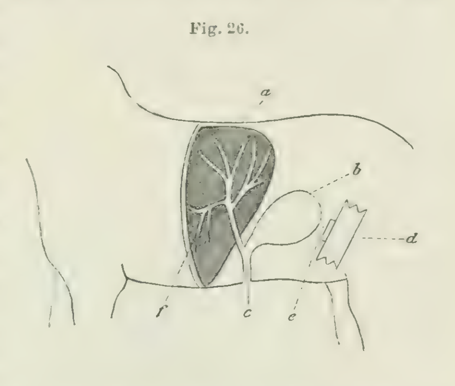
[1]) *Th. Schwann*, Versuche, um auszumitteln, ob die Galle im Organismus eine für das Leben wesentliche Rolle spielt. Archiv f. Anatom. u. Physiol., 1844, S. 127.

unterband per laparotomiam an zwei Stellen den Gallengang und durchschnitt ihn in der Mitte. Sodann wurde die mit Galle angefüllte Blase an der entsprechenden Fläche mit der Bauchwunde vernäht und hierauf ihre Wand durchschnitten. *Schwann* hoffte diese Fisteln zu permanenten zu machen, jedoch kam es nicht hierzu, weil die Tiere 2—3 Stunden nach der Operation eingingen.

Den nächsten Fortschritt machte *Blondlot*, welcher an den Gallenblasenfisteln dieselben Kanülen anwandte wie an der Magenfistel.

Schiff[1]) modifizierte das Operationsverfahren *Schwanns* in dem Sinne, daß er eine permanente Blasenfistel anlegte, ohne den Gallengang zu unterbinden und zu durchschneiden, so daß die Galle außerhalb des Versuches frei in den Darm abfließen konnte. Hiermit erzielte man, daß das Tier den für sein normales Leben wichtigen Verdauungssaft nicht einbüßte, so daß der sezernierte Saft dem normalen näher stehen mußte. Besser ausgearbeitet hat diese Methode *Tschermak*.[2]) *Pawlow* hat eine Methode zur Verlegung des Gallenganges nach außen eingeführt. Die Technik der Methode ist dieselbe wie diejenige der Verlegung des Hauptausführungsganges der Bauchspeicheldrüse nach außen. Es wird zwischen zwei Ligaturen der akzessorische Pankreasausführungsgang, welcher bekanntlich zusammen mit dem Gallengange in eine gemeinsame Duodenalpapille einmündet, durchschnitten, ein die Papille umgebender Lappen ausgeschnitten und letzterer mit den Wundrändern vernäht (Fig. 26).

Fig. 26.



a Leber. *b* Gallenblase. *c* Fistel des D. choledochus. *d* Duodenum. *e* Stelle der Einmündung des D. choledochus in das Duodenum. *f* Ducti hepatici.

Mit einem Worte kann man also zur Gewinnung von Galle nach der Dauerisolierungsmethode entweder die Gallenblase, welche man mit der Außenwelt in Verbindung setzt, oder die Mündung des Gallenganges nach außen verlegen.

Die Galle unterscheidet sich von den übrigen Verdauungssäften dadurch, daß sie in ihrer funktionellen Tätigkeit nicht durch ein anderes Sekret ersetzt werden kann. Der Magensaft kann durch den Pankreassaft, der Pankreassaft gewissermaßen durch den Magen- und Darmsaft sowie durch den Speichel, der Darmsaft eines Darmabschnittes durch denjenigen eines anderen kompensiert werden. Wird also sämtliche Galle nach außen abgeleitet, so hört im Organismus eine nicht zu ersetzende Funktion auf

---

[1]) Leçons sur la Physiologie de la digestion. 1867.

[2]) *Tschermak*, Eine Methode partieller Ableitung der Galle nach außen. *Pflügers* Archiv, 1900, Bd. 82.

und er gerät infolgedessen in einen pathologischen Zustand. Auch die Galle eines solchen Individuums ist folglich pathologisch.

Der Vorteil der Temporärisolierungsmethode ist, daß 1. die anatomischen Verhältnisse des Organs der Gallenabsonderung intakt bleiben und 2. außerhalb des Versuches die Gallenabsonderung in ganz normaler Weise verläuft.

Das Wesentliche der Methode besteht darin, daß hart hinter dem Pylorus am Duodenum eine Fistel mit zweikammeriger Kanüle angelegt wird, wobei der akzessorische Pankreasausführungsgang zwischen zwei Ligaturen durchschnitten wird. In den Darm wird durch das Einleitungsrohr irgend ein Reizmittel, unter dessen Wirkung sich aus der ersten Papille durch die orale Kanülenhälfte Galle ergießt, injiziert. Zuweilen findet eine Absonderung aus den Duodenumdrüsen des die erste Papille umgebenden Schleimhautabschnittes statt, doch erreicht diese Beimengung nur verhältnismäßig geringe Dimensionen und hat infolgedessen keine wesentliche Bedeutung.

7. Gewinnung sämtlicher Säfte bei einem und demselben Tiere.

Es versteht sich von selbst, daß die Lösung dieser Aufgabe nach der Dauerisolierungsmethode aus dem Grunde ganz undenkbar ist, weil die permanente, obgleich auch nicht vollständige Ableitung sämtlicher Säfte nach außen die weitere Existenz des Tieres überhaupt und dessen normale Existenz im besonderen ganz unmöglich macht.

Bei Anwendung des Prinzipes der Temporärisolierungsmethode läßt sich dagegen die Frage ohne bedeutende Schwierigkeiten lösen. Es werden dem Hunde im Verlauf einer Operationsperiode 3 Fisteln, eine am Magen, die andere mit einer zweikammerigen Kanüle am Duodenum zwischen den beiden Papillen und die dritte am Jejunum unweit der Plica duodenojejunalis angelegt. Der akzessorische Pankreasausführungsgang wird während der Operation zwischen zwei Ligaturen durchschnitten. Aus der Magenfistel erhält man sodann Magensaft, aus dem oralen Teile der Duodenalfistel Galle, aus deren analem Teile Pankreassaft und aus der Jejunumfistel Darmsaft *(London)*.

B. Das Studium der Sekretionsprozesse.

1. Speichel.

Das Studium der Speichelabsonderung kann in zwei verschiedenen Richtungen vorgenommen werden. Man beabsichtigt entweder die Sekretionstätigkeit irgend einer Drüse bei Einverleibung verschiedener Nahrungssorten zu verfolgen oder aber summarisch die Tätigkeit des Speichelabsonderungsapparates zu studieren. Im ersten Falle wird der Zweck durch Anlegung einer entsprechenden permanenten Ausführungsgangsfistel nach *Glinsky* erreicht. Die Zahlenwerte, welche man hierbei erhält, entsprechen wohl kaum ganz der Norm, weil der Ausführungsgang ganz und gar aus seiner

natürlichen Lage herausgebracht wird, im allgemeinen jedoch weichen sie nicht allzusehr von den normalen ab, da die nervösen Verbindungsbahnen der Drüse intakt bleiben.

Ist es wünschenswert, eine summarische Bestimmung der Sekretionen der Mundhöhle vorzunehmen, so muß man nach der Methode *Cl. Bernards*, welche darin besteht, daß das Tier ösophagotomiert wird, verfahren. Da von keiner Resorption der Nahrungsstoffe in der Mundhöhle und dem oberen Speiseröhrenabschnitte die Rede sein kann, so wird also die Sekretion der Mundhöhle durch das Plus an Substanz in der verschluckten Nahrung bestimmt (*E. S. London* und *A. Th. Sulima*[1]).

2. Magensaft.

Eine vollkommen anstandslose Methode, welche es gestattete, den Prozeß der Magensekretionsarbeit im Verlaufe der ganzen Verdauungs-

Fig. 27.



Bildung einer Brücke zwischen dem Hauptmagenteil (rechts) und dem kleinen Magen (links).

periode direkt zu verfolgen, gibt es bis jetzt noch nicht. Die Methoden, welche zu diesem Zwecke angewandt werden, geben uns nur eine approximative Vorstellung von dem Prozeß und sind nur bei vergleichenden Untersuchungen von Wert. Dieser Methoden gibt es zwei:

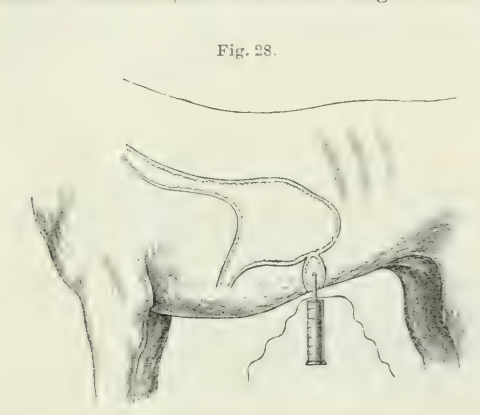
1. Die Methode der Scheinverdauung.
2. Die Methode der tatsächlichen Verdauung.

Die erste Methode ist von *Heidenhain* eingeführt und von *Pawlow* vervollkommnet worden. *Heidenhain* schnitt, wie bereits oben (cf. S. 22) erwähnt worden ist, aus dem Magen einen Lappen aus, vernähte ihn zu einem Sacke und verlegte dessen Öffnung nach außen. Hierbei sorgte *Heidenhain* nicht dafür, die Nervenverbindung zwischen dem ausgeschiedenen Lappen und dem übrigen Teile des Magens zu erhalten. *Pawlow* beseitigte diesen Mangel. Er schnitt einen Lappen aus dem Magen, indem er

[1]) *E. S. London* und *A. Th. Sulime,* Zeitschr. f. physiol. Ch. 1905, Bd. 46, S. 209.

eine Brücke (Fig. 27), welche ihn mit dem übrigen Teile des Magens verband und Nervenverzweigungen des N. vagus enthielt, zurückließ. Daß der auf diese Weise hergestellte Nebenmagen in der Tat als Demonstrationsorgan der Magensekretion dienen kann, wird durch folgende zwei Versuche bewiesen. Stellt man einen Hund auf nüchternen Magen in den Ständer, so beginnt bei ihm nach einiger Zeit die Magensaftsekretion. Der Sekretionsprozeß findet sowohl im Neben- (Fig. 28) als auch im Hauptmagen statt. Bringt man Meßzylinder an den Fistelöffnungen der beiden Mägen an und verfolgt man die Sekretion, so kann man sehr häufig beobachten, daß sie in gewissem Maße parallel arbeiten: die Steigerung der Sekretionsarbeit des einen hat auch Steigerung der Sekretion des anderen Magens zur Folge und vice versa. Der zweite Versuch besteht darin, daß man dem mit einem Nebenmagen und einer Magenfistel versehenen Hunde eine bestimmte Menge (10—15) Sehnenstückchen bei offener Magenfistel zu schlucken gibt. Gewöhnlich entleeren sich sämtliche Stückchen im Laufe von 2—3 Minuten und bald beginnt die Sekretion aus beiden Magenhälften, welche in gewissen Fällen einen mehr oder weniger ausgesprochenen Parallelismus offenbart.

Fig. 28.



Kleinmagenhund nach *Pawlow*.

Der Parallelismus der Sekretionsintensität beider Magenabschnitte beweist, daß sie beide von denselben Nerveneinwirkungen beeinflußt werden. Da die Sekretion sowohl hier als dort sozusagen umsonst, ohne vorhandene Nahrung stattfindet, so kann ein Parallelismus bei Erhaltung der Nervenverbindungen leicht erzielt werden. Der Kernpunkt der Frage liegt jedoch darin, ob der funktionelle Parallelismus auch in dem Falle erhalten bleibt, wenn der Hauptmagen tatsächlich Verdauungsarbeit leistet, während der Nebenmagen fortfährt, zum Scheine zu verdauen. Dieser Beweis ist noch zu erbringen.

Wie dem auch sei, wichtig ist jedenfalls, daß der Nebenmagen während des Verdauungsprozesses des Hauptmagens in bestimmter und konstanter Weise funktioniert. In Abhängigkeit von der Art der Nahrung ergibt sich ein verschiedener typischer Verlauf des Prozesses. Dieser Verlauf ist ein bedingter, da er jedoch bei strenger Einhaltung der nämlichen Bedingungen ein gewisses konstantes Verhalten offenbart, so kann man ihn zu vergleichenden Untersuchungen benutzen, obgleich es freilich noch durch weitere Untersuchungen entschieden werden muß, wie in jedem einzelnen Falle die erzielten Resultate zu beurteilen sind. Man kann sich der Lösung dieser Frage nähern, indem man diese Methode mit einer anderen, von welcher sofort die Rede sein soll, kombiniert.

Um den Saftsekretionsprozeß im Magen nach der Methode der tatsächlichen Verdauung zu studieren, muß man über ein Tier mit zwei Fisteln, einer am Magen und einer sofort unterhalb des Pylorus, verfügen. Die erste Fistel wird auf der Grenze zwischen Fundus- und Pylorusteil des Magens, die zweite aber, welche eine doppelkammerige Kanüle enthält, sogleich unterhalb des Pylorus im Anfangsteile des Duodenums angelegt. Man gibt dem Hunde eine bestimmte Nahrung bei geschlossener Magen- und bei offener Duodenalfistel zu fressen. Aus dem oralen Teile der Kanüle werden von Zeit zu Zeit Produkte der Magenverdauung ausgeschieden; sie werden gewogen und durch das Einleitungsrohr der Ballonvorkehrung, welche durch den analen Teil der Kanüle in den Darm gesteckt ist, in letzteren eingeführt. Dieses setzt man bis zu vollständiger Entleerung des Magens fort. Das Übergewicht der Nahrung stellt eben den Magensaft dar, da unter normalen Verhältnissen im Magen keine Resorption stattfindet. Man kann in dieser Weise verfahren, wenn man beabsichtigt, die Magensekretion summarisch im Laufe der Verdauungsperiode zu bestimmen. Will man jedoch die Saftsekretion im Magen nach Perioden verfolgen, so muß man den Versuch in einem voraus bestimmten Momente unterbrechen, indem man den Mageninhalt durch die Fistel herausbefördert. Summiert man das Gewicht dieses Inhaltes mit demjenigen des Duodenalchymus, so erhält man einen Wert, welcher nach Abzug des Nahrungsgewichtes dasjenige des im Laufe der verstrichenen Verdauungsperiode ausgeschiedenen Saftes angibt. Der Speichelzufluß kann durch besondere Versuche an ösophagotomierten Hunden leicht berechnet werden. Verfolgt man in dieser Weise die Magensekretion im Laufe der einzelnen Perioden, so kann man sich eine Vorstellung von dem allgemeinen Gange der Sekretionsarbeit des Magens machen.

Stellen wir uns nun vor, daß wir über einen Hund, welchen ein Nebenmagen, eine Magenfistel und eine Duodenalfistel sofort unterhalb des Pylorus angelegt worden ist, verfügen. Es erhellt hieraus, daß eine derartige Kombination uns die Möglichkeit gibt, die Angaben beider erwähnten Methoden zu vergleichen. Derartige vergleichende Untersuchungen harren noch ihrer Ausführung.

3. Pankreassaft.

Das Studium des Verlaufes der Pankreassekretion ist seit dem Zeitpunkte möglich geworden, als die Methodik einer permanenten Pankreasfistel, von welcher bereits oben die Rede war, ausgearbeitet worden ist.

Dem im Gestell stehenden Hunde wird irgend eine Nahrung gereicht, und zugleich unter der Fistel ein Trichter nebst Meßzylinder angebracht. So lange der Verdauungsprozeß stattfindet, sezerniert das Pankreas Saft, welcher in den Meßcylinder, wo der Beobachter dann die Teilstriche abliest, abfließt.

Diese Methode weist den Vorteil auf, daß sie einfach und bequem ist und verhältnismäßig befriedigende Resultate ergeben kann. Jedoch

haften ihr auch wesentliche Mängel an. Erstens ist sie keine quantitative. Es handelt sich nämlich darum, daß beim Hunde das Pankreas seinen Saft vermittelst mehrerer Ausführungsgänge ins Duodenum ergießt, von denen der eine, welcher in die zweite Papille mündet, als Hauptausführungsgang, der andere, neben dem Gallengange in die erste Papille mündende als akzessorischer gilt. Außer diesen zwei Ausführungsgängen kann man jedoch sehr häufig schon mit bloßem Auge einen oder mehrere sehr feine Ausführungsgänge gewahren, es kommen jedoch auch so überaus feine Ausführungsgänge vor, welche nur durch mikroskopische Untersuchung nachgewiesen werden können. Sämtliche Ausführungsgänge sind innerhalb der Drüse vermittelst eines Längskanales miteinander verbunden.

Von der Gewinnung des gesamten Sekretes aus einem Ausführungsgange kann also selbst unter ganz normalen Bedingungen gar nicht die Rede sein; außerdem erfährt bei den diesbezüglichen Hunden die Drüse mit der Zeit pathologische Veränderungen, welche Narbenbildung, Verengerung verschiedener Abschnitte des inneren Kanals usw. zur Folge haben.

Zweitens bedingt eine wenn auch partielle Ableitung des Pankreassaftes nach außen einen unnormalen Verlauf des Verdauungsprozesees, da dieser Saft einerseits dazu bestimmt ist, denjenigen Teil der Nahrungsstoffe, welche im Magen unberührt geblieben sind, zu zersetzen und andrerseits die Produkte der peptischen Zersetzung weiter zu bearbeiten hat. Der Mangel an Pankreassaft bedingt einen Defekt der Darmverdauung.

Drittens führt der beständige Verlust von Pankreassaft zu bedeutenden Veränderungen im allgemeinen Haushalt des Organismus.

Von all diesen Mängeln hat das Studium der Pankreassekretion nach der Temporärisolierungsmethode keinen zu verzeichnen. Dem Hunde wird eine Duodenalfistel mit zweikammeriger Kanüle in dem Zwischenraume zwischen beiden Papillen und näher zur ersten angelegt, wobei der akzessorische Pankreasausführungsgang durchschnitten wird. Der Versuch besteht darin, daß man dem Hunde die zu prüfende Nahrung zu fressen gibt und allen Chymus, der aus dem oralen Kanülenteile hervortritt, mit dem sezernierten Pankreassafte vermengt und durch das Einleitungsrohr weiter in den Darm befördert. Das Wesentliche besteht hier also darin, daß der Pankreassaft, ehe er sich mit dem Chymus vermengt und weiter in den Darm befördert wird, in einem Meßcylinder aufgefangen wird, was dem Beobachter die Möglichkeit gibt, den Verlauf seiner Sekretion zu verfolgen.

Der Vorzug dieser Methode besteht darin, daß ihr die Mängel der vorhergehenden nicht zukommen; der gesamte Pankreassaft wird registriert, wenn jedoch zu Analysen Proben entnommen werden, so gelangt fast der gesamte Saft während dem Versuche in den Darm, außerhalb der Versuche aber verliert der Hund gar keinen Saft und der Verdauungsprozeß verläuft durchaus normal. Außerdem gestattet sie, die Reaktion des Pankreas auf verschiedene Reize in ausgiebigem Maße zu studieren. Augenscheinlich ist jedoch auch diese Methode nicht ganz ohne Mängel. Erstens wird nichtsdestoweniger an einer Stelle des Verdauungstractus der

normale Gang des Prozesses gestört, zweitens wird zwar in verhältnismäßig sehr spärlicher Menge neben dem Pankreassafte ein Saft aus dem Duodenumabschnitte, welcher zwischen der Kanülenscheidewand einerseits und dem Ballon andrerseits liegt, ausgeschieden. Bei Beurteilung der Resultate muß also jedesmal die Bedeutung dieser Momente in Betracht gezogen werden.

Im allgemeinen muß man auch hier bemerken, daß man zwecks vollgültiger Schlußfolgerungen dort, wo es irgendwie angeht, beide Methoden benutzen muß.

4. Galle.

Alles das, was von der Methodik des Studiums der Pankreassekretion gesagt wurde, bezieht sich mutatis mutandis auch auf die Methodik des Studiums der Gallenabsonderung. Man muß noch hinzufügen, daß, wenn man den Gallengang nach außen verlegt, die gesamte, von der Leber sezernierte Galle nach außen ausgeschieden wird und der tierische Organismus einer jeglichen Kompensation entbehrt, weil es nur einen Gallengang gibt. Die Temporärisolierungsmethode ermöglicht es, die sezernierte Galle temporär zu eliminieren, damit sie registriert werden kann und damit andrerseits die Darmverdauung ihrer nicht verlustig wird. Bezweckt man nur, die Gallensekretion zu verfolgen, so wird die Fistel hart am Pylorus angelegt; will man zugleich aber auch die Pankreassaftabsonderung verfolgen, so legt man sie im Zwischenraume zwischen den beiden Duodenalpapillen an. Sowohl im einen, als auch im anderen Falle muß der akzessorische Pankreasausführungsgang durchschnitten werden, welcher seinen Saft in die erste Papille ergießt. Der Versuch wird nach dem allgemeinen Typus der Temporärisolierungsmethode angestellt, d. h. der aus der oralen Öffnung der doppelkammerigen Kanüle sich ergießende Chymus wird mit dem Safte aus der analen Öffnung vermengt und durch das Einleitungsrohr weiter in den Darm injiziert.

5. Darmsaft.

Das Studium der Sekretion des Darmsaftes im Laufe des Verdauungsprozesses ist erst seit Einführung der Temporärisolierungsmethode möglich geworden. Die *Thiry-Vella*sche Fistel ist schon deshalb zu diesem Zwecke nicht geeignet, weil der ausgeschiedene Darmabschnitt ohne jegliche Verbindung mit dem Verdauungskanal funktioniert.

Nach der oben genannten Methode wird im Anfangsteile des zu studierenden Darmabschnittes eine doppelkammerige Kanüle angelegt. Vor dem Versuche wird durch den analen Kanülenteil ein Ballon in den Darm eingeführt, welcher in beliebiger Entfernung von der Kanüle gelagert werden kann. Der Hund wird gefüttert, und hierauf befördert man den aus dem oralen Kanülenabschnitt herausfließenden Chymus in den Darm weiter. Hierbei funktioniert auch der Darmabschnitt, welcher zwischen Kanüle und Ballon zu liegen kommt. Der sezernierte Darmsaft ergießt sich durch das Ableitungsrohr in einen Rezipienten. Es lohnt sich nicht, den gewonnenen

Saft zu dem zu injizierenden Chymus hinzuzufügen, weil dieses für den Verdauungsprozeß nicht von Bedeutung ist.

Will man verfolgen, wie der direkte Kontakt mit dem einen oder dem anderen Agens auf die Darmsekretion einwirkt, so muß man die gegebene Darmschlinge zwischen zwei Fisteln ausscheiden. In die eine Fistel wird in gewöhnlicher Weise die zu erprobende Substanz injiziert und aus der anderen Fistel wird das Exkret aufgefangen. Zur Beurteilung der Darmsekretion muß man hier den Stickstoff des Exkretes in Betracht ziehen oder, wenn eine stickstoffhaltige Substanz geprüft wird, so dient der Stickstoff der durch Wärme koagulierbaren Substanzen hierzu.

C. Die Verdauungs- und Resorptionsprozesse in vivo.

1. Allgemeine Bemerkungen.

Bis vor kurzem benutzte man zum Studium der Verdauungsprozesse in verschiedenen Abschnitten des Verdauungskanals fast ausschließlich die Methode der postmortalen Unterbindung. Dieselbe besteht darin, daß man das Tier füttert und nach verschiedenen Zeitabschnitten tötet, ihm den Bauch rasch eröffnet, den Magendarmkanal an verschiedenen Orten, wie z. B. an der Cardia, dem Pylorus, der Plica duodenojejunalis, der Valvula Bauhinii usw. unterbindet, den Inhalt der verschiedenen Abschnitte entnimmt und untersucht. Man erhält gleichsam eine Momentphotographie, jedoch eine mangelhaft zentrierte. Dieses hängt davon ab, daß die Tötung des Tieres und die groben Manipulationen, welche während des Versuches vorgenommen werden, die intravitalen Verhältnisse ganz entschieden aus dem normalen Niveau bringen. Das einzige, was diese Methode ergeben kann, ist eine approximative Vorstellung von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Magendarminhaltes zu verschiedenen Momenten des Verdauungsprozesses, wobei man nicht einmal die individuellen Verhältnisse auszuschließen vermag, weil an einem Tiere die Methode nur einen einzigen Versuch gestattet.

In den Jahren 1904—1905 begann *E. S. London* eine neue, die Polyfistelmethode, systematisch auszuarbeiten. Dieselbe besteht darin, daß man dem Tiere an verschiedenen Punkten des Magendarmkanals Fisteln mit möglichst großen Kanülen, welche je nach Bedarf von verschiedener Form und verschiedene Typus genommen werden, anlegt. Vordem machte *Straschesco*[1]) den Versuch, an einem Hunde mit mehreren Darmfisteln zu experimentieren. Jedoch waren die von ihm angewandten Kanülen nach altem Typus konstruiert und entsprachen weder ihrer Form, noch ihren Dimensionen nach quantitativen Untersuchungen, und die Methodik der Anbringung von Darmkanülen war allzu primitiv. Erst nachdem es gelungen war, ein neues Modell ein- und zweikammeriger Kanülen, welche den Darm am gegebenen Orte gleichsam zerteilen, auszuarbeiten, konnte die betreffende Methodik systematisch vervollkommnet werden.

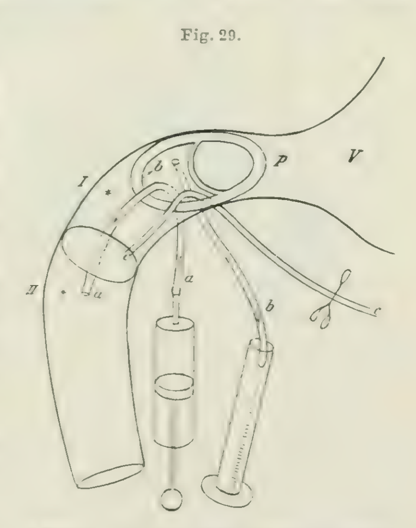
[1]) *Straschesco,* Zur Physiologie des Darms. 1904 (russische Dissertation).

2. Das Studium des Verlaufes der Verdauung.

a) Magenverdauung.

Um eine richtige Vorstellung von dem Verlaufe der Magenverdauung zu bekommen, muß man Versuche an Hunden mit 3 Fisteln, am Magen, sofort unterhalb des Pylorus und im Darme in einer Entfernung von zirka $1/2$ Meter vom Pylorus anstellen. Benutzt man zu den Versuchen nur eine Magenfistel, d. h. füttert man den Hund mehrmals mit einer und derselben Nahrung und entleert man den Mageninhalt in verschiedenen Phasen des Verdauungsprozesses, so erhält man gleichsam eine Reihe von Momentaufnahmen, welche sozusagen kinematographisch kombiniert werden können. Der Hauptvorzug der hierbei erzielten Resultate besteht darin, daß sie vollkommen den normalen Verhältnissen entsprechen, weil vor Eröffnung der Fistel die Arbeit des Verdauungskanales ohne irgend welche künstliche Einwirkungen verläuft: die Magenfistel an und für sich verändert wohl kaum den natürlichen Verlauf der Verdauungsprozesse. Die Jejunalfistel allein, welche im Verlaufe des ganzen Verdauungsprozesses offen steht, bedingt sozusagen eine temporäre Darmresektion. Die Einwirkung des jenseits der Fistel liegenden Darmabschnittes auf diejenige des diesseits derselben liegenden ist vollkommen ausgeschlossen. Es ergibt sich eine künstliche Einschränkung der Verdauungsperiode. Der Wert der hierbei erzielten Resultate ist jedoch ein ziemlich hoher, weil sie uns einen wenn auch etwas beschleunigten Verlauf des Verdauungsprozesses ergeben, wir jedoch hierbei den ganzen Prozeß während sämtlicher Momente desselben beobachten können. Trotzdem die Fistel ziemlich weit vom Pylorus entfernt ist, vermittelt sie jedoch nichtsdestoweniger ziemlich getreu die Arbeit des Pylorus, ebenso wie z. B. der Puls der Art. radialis die Herzkontraktionen wiedergibt.

Fig. 29.



V Magen, *p* Pylorus, *I* Erste Papille, *II* Zweite Papille. *a* Einleitungsrohr, *b* Ableitungsrohr, *c* Aufblahungsrohr.

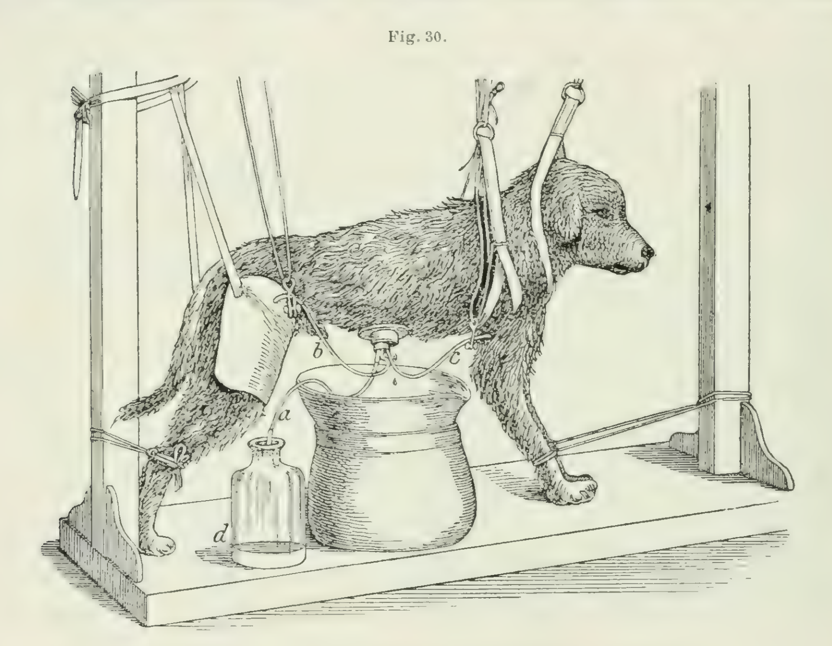
Es muß nun noch die jenseits des Pylorus angelegte Fistel (Fig. 29) besprochen werden. Der Wert der Befunde, welche vermittelst dieser Fistel erhoben werden können, besteht darin, daß sie uns erstens einen summarischen Begriff von der Magentätigkeit geben und zweitens einen Einblick darin gestatten, wie die Magenarbeit vom Darm aus geleitet wird. Die Frage von der Magenresorption kann nur vermittelst einer diesseits des Pylorus angelegten Fistel entschieden werden (Fig. 30).

Die Lücken in den vermittelst einer der erwähnten Fisteln erhobenen Befunden können leicht durch die vermittelst der beiden anderen Fisteln

erhobenen ausgefüllt werden, wodurch sich schließlich ein vollständiges Bild der Magenverdauung ergibt.

Die Produkte der Magenverdauung können in großen Quantitäten vermittelst der Magenfistel gewonnen werden, da entsprechend dem oben Gesagten bei Benutzung dieser Fistel der normale Verlauf der Prozesse am wenigsten gestört wird. Man gibt dem Tiere die zu prüfende Nahrung zu fressen und eröffnet nach 1—1 $^1/_2$ Stunden die Fistel, wobei ein Teil des Inhaltes, welcher teils aus noch nicht veränderten Nährsubstanzen, teils aus schon durch den Magensaft bearbeiteten besteht, sich entleert. Hierauf wird die Fistel geschlossen, der gewonnene Chymus abfiltriert, mit Wasser

Fig. 30.



a Ableitungsrohr, *b* Einleitungsrohr, *c* Aufblähungsrohr, *d* Rezipient.

ausgewaschen und der Rest von neuem dem Hunde dargereicht, wenn das Material noch irgend einen Nährwert besitzt. Nach $^1/_2$—1 Stunde wiederholt man die Prozedur usw. Will man die Produkte der Magenverdauung in der Gestalt, in welcher sie in den Darm gelangen, zur Verfügung haben, so benutzt man eine sofort unterhalb des Pylorus angelegte Fistel, indem man sie auf kurze Zeit (10—15 Minuten) in einstündigen Zwischenräumen eröffnet.

b) Darmverdauung.

Beim Studium des Verlaufes der Darmverdauung muß man mit der regulierenden Einwirkung des Darmes auf die Magenarbeit rechnen. Füttert man das Tier mit einer bestimmten Nahrung und öffnet man im Verlauf der ganzen Verdauungsperiode die Darmfistel, so findet eine Verkürzung

dieser Periode statt, welche um so stärker ausgeprägt ist, je näher die Fistel zum Pylorus liegt. Näher zum Coecum offenbart sich diese Wirkung nicht mehr in merkbarer Weise. Außer der Verkürzung der Verdauungsperiode äußert sich die Fistelexkretion auch am Chymusbestande. Dieses hängt davon ab, daß die resorbierten Produkte die Pankreassekretion beeinflussen; die Beeinschränkung dieser Sekretion aber führt zur Verminderung des Verdauungseffektes.

Aus den erwähnten Gründen ist es zweckmäßiger, wenn man den Versuch in mehrere Perioden zerlegt; am besten teilt man ihn in vier Perioden. Dem Tiere wird bei offener Fistel die Nahrung vorgesetzt. Nach Verlauf von $^1/_4$ Stunde, während welcher der ausgeschiedene Inhalt registriert wird, schließt man die Fistel und analysiert den Chymus. Nach Ablauf von $^3/_4$ Stunden öffnet man die Fistel wiederum auf $^1/_4$ Stunde, um sie hierauf wieder auf $^3/_4$ Stunden zu schließen usf. Im folgenden Versuche wird in derselben Weise das zweite Viertel einer jeden Stunde, im dritten das dritte Viertel und schließlich im letzten das vierte Viertel einer jeden Stunde studiert. Aus der Kombination der Teile ergibt sich sodann ein Allgemeinbild des Prozesses.

Beabsichtigt man zu irgend einem Zwecke eine große Menge von Darmchymus zu sammeln, so ist es auch wieder am richtigsten, wenn man die Versuche in ebensolche Teile zerlegt.

c) Darmresorption.

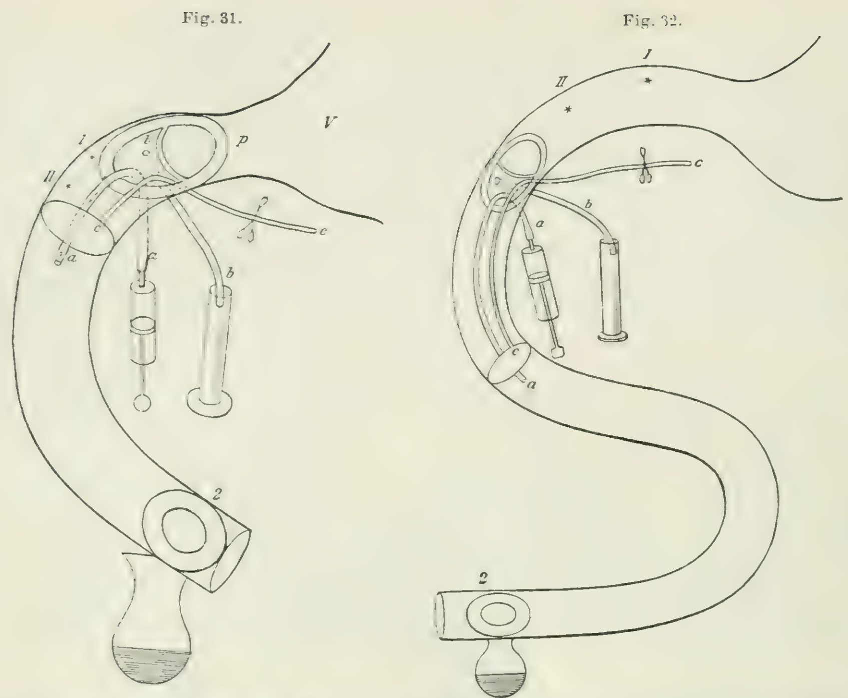
In früheren Zeiten nahm man Darmresorptionsversuche an Hunden mit einer *Thiry-Vella*schen Fistel vor. Die zu prüfende Lösung wurde durch die proximale Fistel in den isolierten Darmabschnitt hineingebracht und dann der nicht resorbierte Teil derselben aus der distalen Fistel aufgefangen. Wie wir jedoch schon oben bemerkt haben, kann ein isolierter Darmteil nicht als Spiegelbild vollkommen normaler Verhältnisse dienen.

Seit Entwicklung der Temporärisolierungsmethode können Resorptionsversuche unter Bedingungen, die den normalen viel näher kommen, angestellt werden. Dem Tiere werden mehrere Darmfisteln angelegt; sind dieselben geöffnet, so isolieren sie die zwischen ihnen gelegenen Darmabschnitte temporär; hierbei werden je nach Bedarf ein- oder doppelkammerige Kanülen angewandt (Fig. 31 u. 32). Die zu prüfende Flüssigkeit wird durch eine Fistel in den Darmabschnitt injiziert, der nicht resorbierte Teil aber durch die folgende Fistel in ein untergestelltes oder untergehängtes Gefäß aufgefangen.

Auf beistehenden Figuren ist z. B. das Aussehen des Tieres und die Versuchsanordnung bei vergleichendem Studium der Resorption in der oberen und der unteren Darmhälfte illustriert (Fig. 34).

Versuche mit temporärer und permanenter Ausschaltung verschiedener Abschnitte des Verdauungskanals.

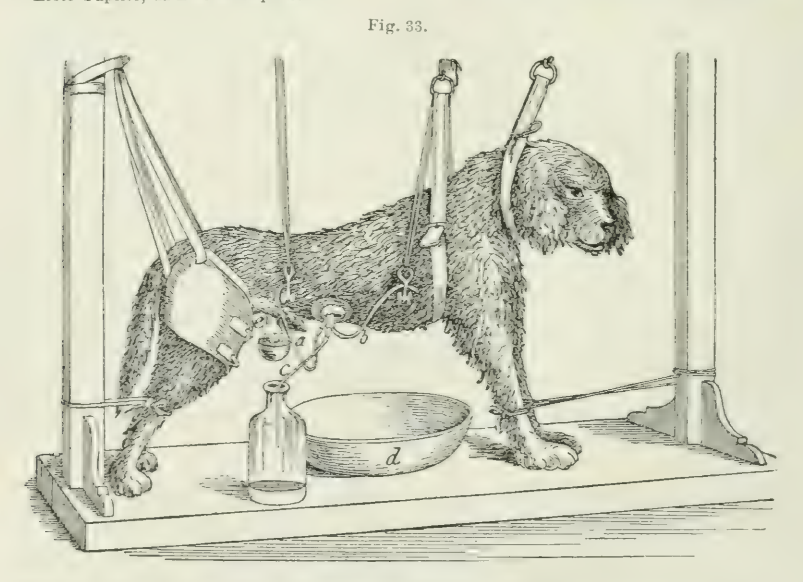
Versuche dieser Art können dreierlei Interesse bieten. Einmal ergänzen unter ganz normalen Verhältnissen die Verdauungsdrüsen einander



Eine zweikammerige Fistelröhre hart hinter dem Pylorus und eine einfache *(2)* am Ende des Duodenums zum Studium der Duodenumresorption. *V* Magen, *p* Pylorus, *a* Einleitungsrohr, *b* Ableitungsrohr, *c* Aufblähungsrohr, *I* Erste Papille, *II* Zweite Papille.

Eine zweikammerige Fistelröhre am Duodenum, hinter der *II*ten Papille und eine einfache am Jejenum oder Ileum. *V* Magen, *p* Pylorus, *a* Einleitungsrohr, *b* Ableitungsrohr, *c* Aufblähungsrohr, *I* Erste Papille, *II* Zweite Papille.

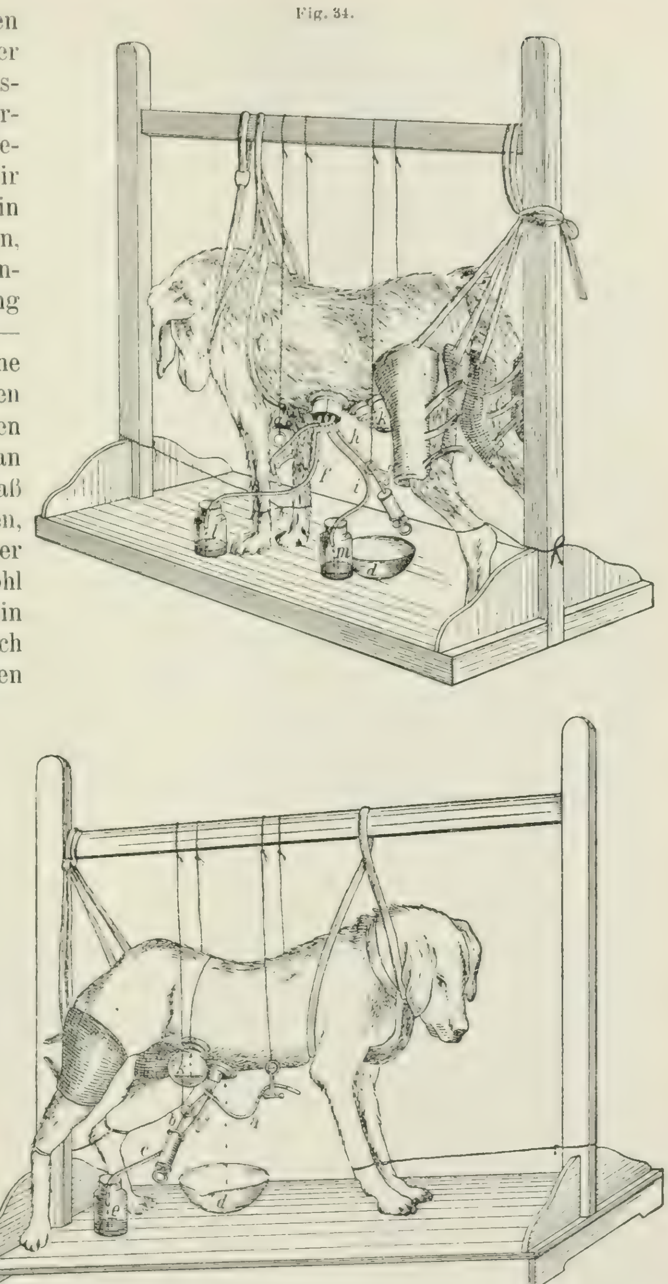
Fig. 33.



Resorptionshund während des Versuches. *a* Einleitungsrohr, *b* Aufblähungsrohr, *c* Ableitungsrohr, *d* Rezipient für die Ausscheidungen aus dem Magen resp. oberen Duodenum.

gegenseitig in gewissen Grenzen. Nicht immer nehmen die Verdauungsdrüsen infolge von verschiedenen inneren Bedingungen, über die wir uns noch sehr schwer ein Urteil bilden können, einen gleichmäßigen Anteil an der Bearbeitung der Nährsubstanzen. — Wenn man Versuche unter möglichst gleichen äußeren Bedingungen anstellt, so kann man leicht wahrnehmen, daß z. B. Eiweißsubstanzen, welche bis zu einer gewissen Grenze sowohl im Magen durch Pepsin als auch im Darme durch Trypsin verdaut werden können, in den einen Fällen mehr Veränderungen im Magen, in anderen mehr im Darme erfahren. Wie im Speziellen die übliche Koordination und gegenseitige Kompensation stattfindet, diese Frage kann nur durch Versuche mit vollkommener temporärer oder permanenter Ausschaltung verschiedener anatomisch-phy-

Fig. 34.



Ausrüstung eines Dreifistelhundes zum Vergleichsstudium der Resorptionsvorgänge im Jejunum und Ileum. *a, b, c* Leitungs- und Blähungsröhren der Fistel, welche an der Grenze zwischen dem Jejunum und Ileum angelegt ist. *f, g, h* Röhren der Fistel, welche am Anfangsteil des Jejunums angelegt ist. *d, e, k, l* Rezipienten für die Ausscheidungen.

siologischer Abschnitte gelöst werden. Zweitens läuft in dem Maße, als wie die normale Verdauungsphysiologie aus den koordinierten Funktionen sämtlicher Verdauungsdrüsen zusammengesetzt ist, die pathologische Physiologie auf bald temporäre, bald permanente Ausschaltung verschiedener Funktionen hinaus. Schließlich muß drittens auf die Erschließung der Verdauungspathologie eine rationelle Therapie folgen, zu welchem Zwecke wiederum Experimente dieser Art erforderlich sind.

Eine permanente Ausschaltung verschiedener Abschnitte des Verdauungskanals kann durch gewöhnliche chirurgische Exzisionsverfahren erreicht werden. Zur temporären Ausschaltung können dagegen die nämlichen mechanischen Eingriffe, welche bei der Temporärisolierungsmethode Anwendung gefunden haben, dienen. Ebenso wie dort, wird auch hier die Ausschaltung des betreffenden Abschnittes vermittelst verschiedener Fistelkanülen und Ballonvorrichtungen erreicht.

Letzteres wollen wir an einem Beispiele illustrieren. Nehmen wir an, daß es uns erwünscht ist, die funktionelle Teilnahme sämtlicher Verdauungssäfte mit Ausnahme des Darmsaftes an dem Verdauungsprozesse zu eliminieren. Zu diesem Zwecke führen wir in den Anfangsteil des Jejunums einen Ballonapparat durch die Fistel ein, blasen den Ballon auf und injizieren die zu untersuchenden Nahrungsprodukte durch das Einleitungsrohr in den Dünndarm. Die Säfte aber, welche von den höher liegenden Verdauungsorganen sezerniert werden, entleeren sich durch das Ableitungsrohr nach außen.

Bei Beschreibung der Methodik zum Studium der Verdauungsdrüsenfunktion wiesen wir darauf hin, daß bei der Temporärisolierungsmethode verschiedene Verdauungssäfte erst nach außen entleert und dann weiter befördert werden. Will man den betreffenden Saft ausschalten, so braucht man ihn nur nicht weiter zu befördern.

* * *

Wie aus allem oben beschriebenen ersichtlich, hat die moderne Verdauungsmethodologie einen hohen Grad von Entwicklung erreicht. Die ihr zugrunde gelegten Prinzipien sind, wie man behaupten kann, ganz und gar ausgenutzt. Wenn ihr also eine noch weitere Entwicklungsbahn beschieden ist, so muß man vor allem die Aufstellung neuer methodologischer Prinzipien erwarten.

Experimentelle Aërodynamik.

Von **Hans Zickendraht**, Basel.

1. Wenn an dieser Stelle der Grundgesetze für Aërodynamik (also der Lehre von der bewegten Luft) hergeleitet werden sollen, so möge dies, der Eigenart der zu betrachtenden Disziplin entsprechend, einmal auf eine Weise geschehen, die nicht die allgemein gebräuchliche ist. Grundgesetze pflegt man in der Naturwissenschaft in der Weise abzuleiten, daß ein reeller Fall, aller störenden Nebenumstände entkleidet, nur im Hinblick auf das zu studierende Phänomen hin untersucht wird. Wollen wir etwa den freien Fall eines Körpers theoretisch verfolgen, so denken wir uns, was der Wirklichkeit in den seltensten Fällen entsprechen wird, den Körper im absoluten Vakuum fallend, schalten also die Reibung und den Widerstand des Mediums aus, in welchem sich der Vorgang abspielen soll. Die Gasgesetze formulierte man zunächst für ideelle Gase, also für solche, die es gar nicht gibt, denen wir manche fundamentale Eigenschaften entziehen mußten, um der mathematischen Fassung der Gesetze einfache Formen geben zu können usf.

Hier soll nun versucht werden, von dem allgemeinsten Falle ausgehend, eine Annäherung an die Sätze zu gewinnen, die der Aërodynamik zugrunde liegen. Wir dürfen dabei nicht vergessen, daß wir momentan noch (1911) unsere Kenntnisse in diesem Gebiete in keiner Weise mit den präzis gefaßten Sätzen vergleichen dürfen, durch welche sich andere Gebiete der Physik, namentlich Optik und Elektrizitätslehre, auszeichnen. Wollten wir in der Aërodynamik von Idealfällen ausgehen, und das ist in vielen Fällen theoretisch versucht worden, so würden wir auf Gesetze gelangen, die nur in geringem Grade mit der Wirklichkeit übereinstimmten, und zwar würden, das ist sehr wichtig, die Abweichungen der Theorie vom experimentellen Resultate nicht die relative Kleinheit besitzen, wie dies bei der Gastheorie (ideelle und reelle Gase) der Fall ist, sondern wir kämen eben auf vollständig ungenügende Formeln. Es wird weiter unten noch Gelegenheit geboten werden, hierauf zurückzukommen.

So ist eben der Weg, den die Forschung zu gehen hat, klar vorgezeichnet. Experimentell müssen wir zunächst das Gebiet genau kennen gelernt haben, bevor wir an die Ausarbeitung einer Theorie herantreten

können. Es ist ein deutlicher, nicht mißzuverstehender Wink für den Gelehrten gewesen, daß die Flugmaschine gebaut werden konnte und bedeutende Leistungen erzielte, bevor es der Wissenschaft gelungen war, die dabei in Frage kommenden Naturgesetze auch nur annähernd genau zu definieren.

2. So sehen wir nun überall größere Institute entstehen, die unter der Leitung hervorragender Männer der Wissenschaft arbeiten und den Zweck haben, große umfassende Versuchsreihen über alle Fragen aus unserem Gebiete durchzuführen, die Resultate dieser Experimente zu ordnen und zu einer das Ganze darstellenden Theorie des Luftwiderstandes zu vereinigen.

Solche Institute sind beispielsweise die unter der Direktion von Prof. *Ludwig Prandtl* stehende Modellversuchsanstalt für Luftschiffahrt und Flugtechnik an der Universität Göttingen[1], welche über einen sogenannten Windtunnel von 2 × 2 *m* Querschnitt verfügt. Es ist dies ein mit glattem Holze ausgekleideter Kanal von quadratischem Querschnitt, in welchem durch einen elektrisch angetriebenen Ventilator ein Luftstrom von gleichmäßig über den Querschnitt verteilter Geschwindigkeit erzeugt werden kann. Sinnreiche wageartige Einrichtungen gestatten, die verschiedenen Druckkomponenten zu ermitteln, welche auf die vom Luftstrome getroffenen Modelle von Ballonformen oder Aëroplanflächen ausgeübt werden.

Bekanntlich verfügt auch *Graf Zeppelin* über eine Versuchsanstalt in Friedrichshafen; in München arbeitet die Deutsche Akademie für Flugtechnik unter *Freiherrn von Bassus* an aërodynamischen Problemen, während sich die Geschäftsstelle und Versuchsanlage der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie in Lindenberg unter Leitung von Dr. Ing. *F. Bendemann* hauptsächlich mit der Prüfung von Propellern befaßt.

Die Pariser Universität besitzt in dem von dem bekannten Flugmäcen *Henry Deutsch de la Meurthe* gestifteten Institut Aérotechnique in St. Cyr l'École[2] eine mit allen modernen Mitteln vorzüglich ausgerüstete Versuchsanstalt, namentlich auch für Versuche großen Maßstabes. Es sei schon hier bemerkt, daß die Versuche im kleinen niemals extrapolierende direkte Schlüsse auf die Verhältnisse bei vergrößerten Dimensionen zulassen und so die Institute, welche genügend Raum und Einrichtungen für das aërodynamische Studium größeren Maßstabes besitzen, von besonderem Werte sind.

Paris, bis jetzt noch das Hauptzentrum europäischer Fliegekunst, ist überhaupt reich an flugtechnischen Anstalten und Schulen. Der bekannte Erbauer des 300 *m*-Turmes Ingenieur *Eiffel* leitet ein aërodynamisches Laboratorium, von wo aus schon viele wertvolle Resultate erzielt worden sind. Am Institut de la Société d'études de locomotion aérienne

---

[1]) Vgl. die Beschreibung in der Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ingen., **53**, S. 1711 (1909).

[2]) Beschreibung im Bulletin de l'Institut Aérotechnique de l'Université de Paris. H. Dunot et E. Pinat, Paris 1911.

in Levallois-Perret führt *Rateau* interessante Untersuchungen aus. Die Fliegerschulen, an welchen neben theoretischen Vorlesungen Kurse in der Führung von Flugzeugen abgehalten werden, sind in Deutschland bald ebenso zahlreich wie in Frankreich, es ist hier nicht der Ort, sie aufzuzählen.

Von wichtigen wissenschaftlichen Laboratorien seien nur noch das aërodynamische Institut Koutchino bei Moskau (Prof. *Riabouchinsky*) und die Versuchsanstalt der berühmten Firma Vickers & Sons in London genannt. Weitere Institute sind im Entstehen begriffen.

Daß es nicht an regem Interesse, auch nicht an Arbeitskräften fehlt, den neuen fruchtbaren Boden zu bewirtschaften, ist nach dem vorhergehenden klar; besonders wertvoll ist der Umstand, daß Wissenschaft und Technik in gleichem Maße dabei gewinnen. Das ist auch der Grund dafür, daß wir sowohl reine Theoretiker als auch Ingenieure, Männer der Praxis, an die oft recht verwickelten Probleme herantreten sehen. Je nach dem erstrebten Ziele, das sich der Forscher gesteckt hat, wird seine Arbeitsweise wie auch die Fassung seiner Resultate mehr nach der theoretischen oder der technischen Seite hin tendieren.

3. Von großem Wert wird es auch heute noch für den Erbauer einer Flugmaschine sein, den Flug der Vögel zu studieren. Da sehen wir erst, wie weit wir mit unseren heutigen Mitteln noch von der endgültigen Lösung des Flugproblems entfernt sind. Die ökonomische Ausnützung der verfügbaren Arbeit, wie sie beim fliegenden Vogel erreicht ist, wird für uns vorderhand ein unerreichtes erstrebenswertes Ziel bleiben; auch wenn unsere heutigen Apparate in der Hand kundiger Führer bedeutende Leistungen aufweisen, werden wir doch immer wieder zur Natur zurückkehren müssen, um bei ihr zu lernen, wie mit einem Mindestmaß von Mitteln ein Höchstmaß von Leistung erzielt werden kann. Nicht umsonst hat sich *Otto Lilienthal* eingehend mit den Verhältnissen vertraut gemacht, welche die Grundlage des Vogelfluges bilden [1]), bevor er seine denkwürdigen Versuche begann. Den Flug der Taube verfolgte *Friedrich von Loessl* [2]) mathematisch und hat dabei viele interessante Gesichtspunkte zu entwickeln verstanden, wenn wir uns heute auch seinen Anschauungen nicht mehr in allen Punkten anschließen können. *P. Painlevé* und *E. Borel* beginnen ihr Buch [3]) mit einer zusammenfassenden Darstellung der verschiedenen Flugweisen, deren sich die Vögel je nach den äußeren Umständen bedienen, und vergleichen die Bestrebungen der Aviatik mit den Hilfsmitteln der Natur. Es möge an dieser Stelle ausdrücklich betont werden, daß im Sinne einer einheitlichen Darstellung im vorliegenden Referate ganz von einer

---

[1]) *Otto Lilienthal,* Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Zweite vermehrte Auflage. R. Oldenbourg, München und Berlin.

[2]) *Fr. v. Loessl,* Die Luftwiderstandsgesetze etc. A. Hölder, Wien 1896.

[3]) *P. Painlevé* und *E. Borel,* Theorie und Praxis der Flugtechnik. R. C. Schmidt & Co., Berlin 1911.

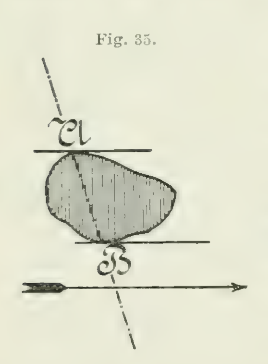
Behandlung des Vogelfluges abgesehen werden muß. Der dem Verfasser zu Gebote stehende Raum erlaubt nur eine gedrängte Darstellung eines einzigen Gebietes der Aërodynamik und so soll im folgenden das Wesentliche unserer physikalischen Kentnisse über den Luftwiderstand zu geben versucht werden. Was den Vogelflug anbetrifft, so sei auf die angeführten Werke verwiesen, von denen aus der Interessent tiefer in das Gebiet einzudringen vermag.

Die Luftwiderstandsgesetze.

4. Die Herleitung der für eine Theorie des Luftwiderstandes maßgebenden Grundgesetze soll mit der Besprechung des allgemeinsten Falles begonnen werden, damit ein übersichtliches Bild aller Faktoren gewonnen und die Notwendigkeit ihrer gleichzeitigen Berücksichtigung ersehen werden kann.

Unser Grundversuch bestehe im Folgendem: Ein beliebig gestalteter Körper werde dem Winde ausgesetzt. Aufgabe ist, die Kräfte zu messen, denen er bei dieser Gelegenheit unterworfen ist.

Fig. 35.

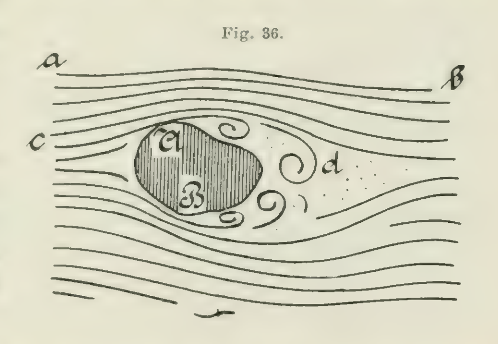


Wir betrachten zunächst den Körper selbst und werden seine Gestalt und seine Dimensionen als maßgebende Faktoren untersuchen müssen. In Fig. 35 sei der Wind von links her kommend gedacht, dann werden wir, um eine Orientierung gewinnen zu können, die linke Seite der Fig. 35, etwa den Raum vor der Ebene AB des größten Querschnittes, als Wind- oder Luvseite, die rechte Seite der Figur hinter der Ebene AB als Windschatten- oder Leeseite bezeichnen. Sehen wir uns den Körper selbst genauer an, so werden wir im allgemeinen ebene oder gekrümmte Flächen, aber auch Kanten und Ecken an ihm wahrnehmen. Alle diese Umstände spielen eine wichtige Rolle bei der Beurteilung des Luftwiderstandes: auch Rauheit oder Glätte der Oberfläche sind von großer Bedeutung.

Vom Winde selbst kennen wir bis jetzt bloß die Richtung, wir werden also zu untersuchen haben, ob in allen Punkten des Raumes um den Körper herum die Richtung der strömenden Luftmenge dieselbe ist, oder ob wir an verschiedenen Stellen verschiedene Windrichtungen zu verzeichnen haben. Dann ist die Geschwindigkeit des Luftstromes von weittragender Bedeutung. Auch diese Größe wird möglicherweise ihren numerischen Wert verändern, und zwar kann eine räumliche oder auch eine zeitliche Änderung hierbei vorliegen. Eine räumliche Änderung der Windgeschwindigkeit wird sicherlich vorhanden sein: so wird beispielsweise in größerem Abstande vor dem Körper die Windgeschwindigkeit einen anderen, meist größeren Wert haben als dicht vor dem Körper selbst, wo sich die Luft stauen und ihre Geschwindigkeit teilweise einbüßen wird. Unter zeit-

licher Änderung verstehe ich das, was *Langley*[1]) durch „the internal work of the wind" zu charakterisieren suchte. Der Wind ist, wie seine (*Langleys*) anemometrischen (geschwindigkeitsmessenden) Versuche beweisen und wie wir übrigens auch bei jedem Winde selbst fühlen können, niemals ein gleichmäßiger Strom von Luft, sondern er besteht immer aus einzelnen Stößen: mit anderen Worten, es ändert sich die Windgeschwindigkeit sehr stark mit der Zeit. Wenn sie in diesem Momente etwa 2—3 *m* pro Sekunde betrug, so kann sie leicht ein paar Sekunden später auf den doppelten Wert gestiegen sein, um wieder ein paar Sekunden darauf auf Null, also eine augenblickliche Windstille, herabzusinken. Diesen Umstand zieht *Langley* z. B. zur Erklärung des Schwebens mancher Vögel herbei, indem er ihnen die Fähigkeit richtiger Ausnutzung dieser nie ruhenden Bewegung zur Aufrechthaltung ihres Schwebegleichgewichtes zuschreibt. Wir sehen schon hier, daß wir also bei unseren Druckmessungen am beliebigen Körper im freien Winde mit vielen gleichzeitig zu beurteilenden Einflüssen zu rechnen haben werden. Es wird somit unsere Aufgabe sein, in jedem Momente die ganze Umgebung des Körpers zu studieren, um allen Veränderungen messend nachkommen zu können.

Fig. 36.



Das soll aber etwa in folgender Weise geschehen: Denken wir uns einmal die Luft von feinen Rauch- oder Staubteilchen erfüllt, dann können wir diese Teilchen ja durch ein passend gerichtetes grelles Lichtbündel sichtbar machen. Es ist dies die bekannte Art und Weise wie die „Sonnenstäubchen" entstehen, die ja im Ultramikroskope ihre glänzende wissenschaftliche Verwendung gefunden hat. Solcher mit Staubteilchen geschwängerte Wind umströme nun den Körper in Fig. 35 und wir werden zu irgend einer Zeit eine Blitzlichtmomentaufnahme dieses Körpers oder, was noch besser wäre, eine kinematographische Bilderserie während eines bestimmten Zeitraumes aufnehmen. Dann erhalten wir ein Bild etwa vom Charakter der Fig. 36[2]) und lernen neue wertvolle Begriffe kennen. Fig. 36 stellt den Strömungszustand in einem ganz bestimmten Zeitmomente dar, Verhältnisse, die nur in diesem Augenblicke bestanden und nie wieder realisierbar sind, denn schon die nächste Serienaufnahme unserer kinematographischen Untersuchung wird ein anderes Bild aufweisen. Die vielen Linien, unter

---

[1]) *S. P. Langley*, Experiments in aerodynamics. Smithsonian contributions to knowledge 1891.

[2]) Unser Versuch muß in gewisser Weise ein Idealexperiment bleiben, da wir ja zunächst alles in der Ebene der Fig. 36 betrachten wollen, die Luft, die vor dem Versuchskörper vorbeiströmt und ebenfalls Wirbel (deren Achsen in der Zeichnungsebene liegen) erzeugt, also vernachlässigt wird.

denen wir 2 herausgreifen (etwa a—b und c—d), geben die Bahnen eines Staubteilchens wieder, welches mit dem Winde fliegend uns ein Bild der Stromrichtung in jedem Punkte liefern soll.

Die Stromrichtung wird somit durch diese Bahnen, die sogenannten Stromlinien, charakterisiert.[1]) Während die Stromlinie a—b nun beinahe geradlinig, durch den Körper ungestört, verläuft, hat sich die Stromlinie c—d zu einer Spirale eingerollt. Wir sprechen also von einer Wirbelbildung und sehen eine solche immer hinter Kanten oder Ecken eines Körpers auftreten. Gleichzeitig erkennen wir, daß die Luvseite von Wirbeln frei ist, die Leeseite jedoch in den meisten Fällen Wirbel enthalten wird, die bei der Beurteilung des Luftwiderstandes, wie wir noch sehen werden, eine fundamentale Rolle zu spielen berufen sind. Die Kanten respektive Ecken A und B werden also die Ablösungsstellen von Wirbeln sein und müssen demnach bei den weiter unten zu betrachtenden Anschauungen über den Luftwiderstand des Körpes als besonders charakterisierte Punkte angesehen werden.

Es wird auch einzelne Stellen geben, wo eine momentane Bewegungslosigkeit herrscht, daneben werden Orte unregelmäßiger turbulenter Bewegung auftreten, wir sehen so in dem Raume hinter dem Körper recht verwickelte Verhältnisse entstehen, die alle berücksichtigt werden müssen, wollen wir ein richtiges Bild unseres aërodynamischen Vorganges gewinnen.

Wie wir in der Elektrizitätslehre den Raum um einen elektrisierten Körper herum als das elektrische Feld bezeichnen, so soll die Umgebung des umströmten Körpers das aërodynamische Feld desselben genannt werden, und es wird unsere Aufgabe sein, dieses aërodynamische Feld in allen seinen Eigenschaften zu untersuchen und auszuwerten.

Auswertung des aërodynamischen Feldes.

5. In eleganter Weise hat *Ahlborn*[2]) an hydrodynamischen Versuchen den Weg gewiesen, der bei den aërodynamischen Analogien zu gehen sei. Er zeichnet die Stromlinien in einer Ebene durch die Bahnen feiner Bärlappsamenkörnchen, die er auf strömendes Wasser streut und deren eigenartige Wege er photographisch verfolgt. Prachtvolle Bilder der Wirbel hinter eingetauchten Körpern erhält er so, kinematographisch gelingt es, Werden und Vergehen dieser Wirbel zu studieren, um den Anschluß an die theoretische Behandlung des hydrodynamischen Widerstandes zu gewinnen.

---

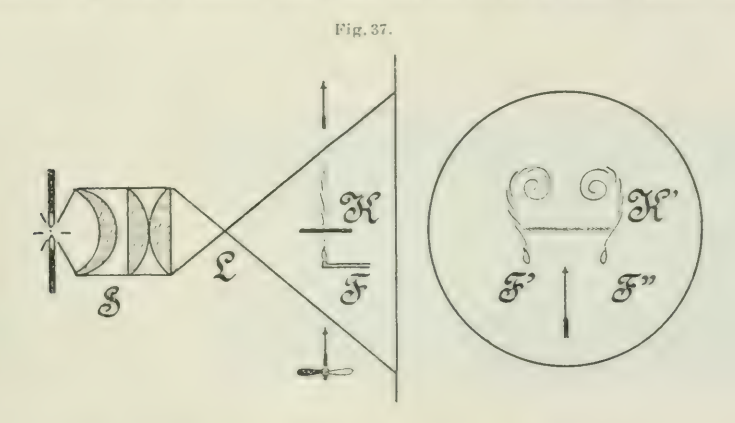
[1]) Wir charakterisieren hier die Stromlinien ausdrücklich als Örter sich bewegender Punkte und unterteilen die Strömung nicht in Fäden (vgl. *Loessl*, Luftwiderstandsgesetze S. 28).

[2]) *Fr. Ahlborn,* Über den Mechanismus des hydrodynamischen Widerstandes. Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaft. Hamburg, Bd. 17 (1902); vgl. auch Physikal. Zeitschr., XI, S. 201 (1910).

Riabouchinsky[1]) hat das *Ahlborn*sche Verfahren auch auf Luft übertragen. auf dem Hintergrunde schwarzen Papiers heben sich die Wirbelbilder aus hellem Lycopodiumsamen deutlich ab und geben so ein Bild von den Vorgängen in der Umgebung umströmter Körper.

Wenn *Eiffel*[2]) die Stromlinien vermittelst zarter Seidenfäden. die er in den Luftstrom hineinbringt. zu verfolgen sucht. so hat er sich noch nicht des feinsten Mittels bedient. das uns zu Gebote steht: die Methode der Rauchfäden. die in den Händen von *Wellner*. *Marey* und neuerdings *Coanda* ausgebildet wurde. gibt. als viel empfindlicheres Verfahren. bedeutend mehr. *Marey*[3]) hat durch viele parallele Rauchfäden den Verlauf eines gleichmäßigen Luftstromes sichtbar gemacht; diesem Luftstrom dann verschiedene Körper entgegengestellt und die so entstehenden Luftwirbel photographisch festgehalten. *H. Coanda*[4]). der Konstrukteur eines interessanten Aëroplans. bei welchem die Luftschraube durch eine Turbine ersetzt

Fig. 37.



ist. hat ebenfalls schöne Stromlinienbilder nach der Rauchfadenmethode erhalten.

An Stelle der Rauchfäden können nun auch Fäden eines Gases treten. die sich von ihrer Umgebung nur durch andere optische Eigenschaften unterscheiden. So studiert *Lafay*[5]) das Umströmen verschieden gestalteter Flächen. indem er dem Luftstrome einen dünnen Strahl von Acetylen beimengt und auf eine sinnreiche optische. von *A. Toepler* angegebene Weise die Stromlinien sichtbar macht und auch photographiert. Der Versuch läßt sich vereinfacht leicht wiederholen. wenn man. wie es wohl *Mach*[6]) zum

[1]) *Riabouchinsky,* Bulletin de l'institut aérodynamique de Koutchino, 1906 et 1909.

[2]) *G. Eiffel,* La résistance de l'air. Paris (1910).

[3]) *M. Marey,* Comptes rendus hebdomadaires de l'académie des Sciences de Paris, T. 132, p. 1291 (1901).

[4]) Vgl. die Bemerkung in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt. II, S. 168 (1911).

[5]) *A. Lafay,* Comptes rendus, T. 152, p. 694 (1911).

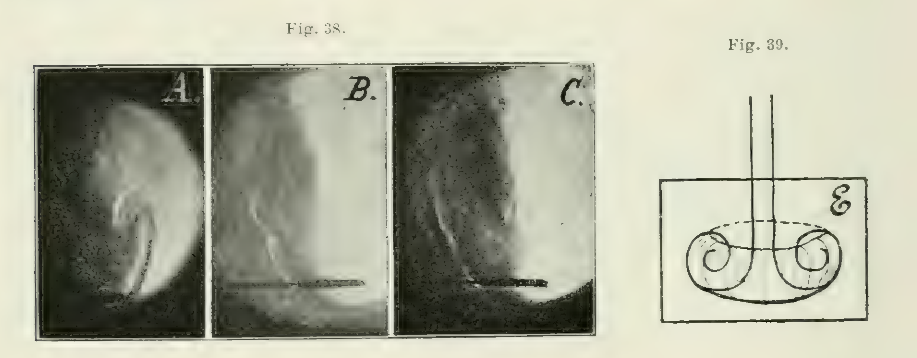
[6]) *L. Mach,* Zeitschr. für Luftschiffahrt u. Physik d. Atmosphäre, S. 129 (1896).

ersten Male tat. heiße und kalte Luft gemeinsam zur Darstellung der Wirbel verwendet. Von einer möglichst punktförmigen intensiven Lichtquelle L (Fig. 37) aus (der leuchtende Punkt wird am besten als Brennpunkt eines Linsensystemes S hergestellt) fallen Strahlen auf den zu untersuchenden Körper K (etwa eine Platte) und werfen den Schatten K' desselben auf eine Wand. Bringt man unter dem Körper K zwei feine Flämmchen F (Bilder F' und F'') so an, daß die aufsteigende heiße Luft parallel mit einem langsam von unten aufsteigenden Luftstrome verläuft, so lassen sich die Wirbel im Schattenbilde leicht demonstrieren. Fig. 38 zeigt 3 photographische Aufnahmen des Verfassers nach dieser Methode [1]: A zeigt einen ganzen, B einen ausbrechenden und C einen zerrissenen Luftwirbel hinter einer kleinen ebenen Platte. Wir kommen später darauf zurück.

In einfacher Weise hat *Tanakadaté* [2]) die Luftwirbel hinter den Paletten einer arbeitenden Luftschraube nach dieser sogenannten Schlierenmethode nachweisen können.

Fig. 38.

Fig. 39.



Alle die obengenannten Verfahren geben jedoch nur einen ebenen Schnitt durch die räumlich zu denkenden Wirbel und wir müssen versuchen, von dem dreidimensionalen Vorgange ein Bild zu gewinnen.

In ein Glas Wasser tauchen wir vorsichtig die Spitze eines mit Aquarellfarbe [3]) reichlich gefüllten kleinen Pinsels, dann sehen wir bei ganz ruhigem Wasser einen feinen Faden schwerer Farblösung (resp. Suspension) zu Boden sinken. Hierbei entstehen nun leicht kleine Wirbel, die eine umgekehrt pilzförmige Gestalt annehmen und am besten das räumliche Gebilde darstellen, was etwa als Luftwirbel hinter einer senkrecht getroffenen quadratischen Platte entsteht. Der Schnitt mit einer Ebene E durch die Wirbelachse liefert eben die in Fig. 38 photographisch wiedergegebenen Kurven. Der Luftwirbel hinter der Platte ist somit als Wirbelring zu denken. Wie sich ein solcher Wirbelring deformiert, wenn Änderungen in der Platten-

[1]) *H. Zickendraht,* Ann. der Physik, IV, Bd. 35, p. 73 (1911).

[2]) *A. Tanakadaté,* Comptes rendus, T. 151, p. 211 (1910).

[3]) Etwa Deckweiß wegen des hohen spezifischen Gewichtes. Beim Eintauchen und Herausziehen des Pinsels erscheinen die Wirbelringe oft sehr deutlich.

neigung auftreten und was die Folgen dieser Erscheinung für den Luftwiderstand sind, wird weiter unten besprochen werden.

Die mathematische Behandlung solcher Wirbelfädenprobleme, wie sie *Helmholtz* angebahnt hat, ist mit recht beträchtlichen Schwierigkeiten verknüpft. An dieser Stelle soll nur erwähnt werden, daß in neuester Zeit z. B. *Bryan*[1]) sich mathematisch mit den Problemen der Wirbelbildung hinter Ecken und Kanten befaßt hat. für eine den wirklichen Vorgängen der Aërodynamik vollständig gerecht werdende mathematische Theorie des Luftwiderstandes ist diese Darstellung unumgänglich notwendig; da die Form der Wirbel unter anderem auch stark von der Form des umströmten Körpers abhängt, die Wirbel aber den Gesamtdruck auf den Körper stark beeinflussen, so müßte in einer Gleichung für den Luftwiderstand eines gegebenen Körpers ein von der Wirbelbildung abhängiges Glied enthalten sein.

6. Hinter Ecken und Kanten entstehen die Wirbel; wie verhält sich aber ein Körper ohne Ecken und Kanten? Kann seine Oberfläche auch Anlaß zur Ablösung von Wirbeln geben? Zur Beantwortung dieser Fragen betrachten wir eine Kugel in einem Luftstrom. Irgend eine der vielen oben angeführten Methoden wird uns sehr bald erkennen lassen, daß auch hinter der Kugel wirbelnde Luftbewegungen entstehen. Wir werden dem Körper, wollen wir eine wirbelfreie Umströmung erzielen, eine andere (und zwar in der Stromrichtung) verlängerte Form zu geben haben. Es kommt eigentlich nur darauf an, den Wirbelraum zum Verschwinden zu bringen, die Entstehung des sog. toten Wassers (die Bezeichnung ist, wie wir sehen, recht inkorrekt) zu unterdrücken. Wie Fig. 40 zeigt, füllen wir möglichst den Raum des „toten Wassers" durch den Körper selbst aus und erreichen so in Fig. 40 C eine theoretisch wenigstens vollständig lückenlose Umfließung des Körpers. Da seine Konturen demnach den ihm unmittelbar anliegenden Stromlinien folgen, nennt man einen Körper, wie den in Fig. 40 C dargestellten, einen Stromlinienkörper oder eine Stromlinienform. Solche Formen finden wir bei den Fischen, z. B. bei der Forelle, in schönster Weise verwirklicht.

Streng genommen sind wir aber eben im Begriffe, einen wichtigen Umstand zu vernachlässigen, der hier von großer Bedeutung ist und uns den wirbelfreien Stromlinienkörper als einen trotz allem unrealisierbaren Idealfall erkennen lehrt. Die genaue Untersuchung der bestmöglichen Stromlinienform läßt uns nämlich erkennen, daß sich auch hier Stellen ausbilden können, die zur Wirbelablösung Anlaß geben. Es ist das Verdienst von *Prandtl*[2]), auf diesen Umstand aufmerksam gemacht zu haben, und zwar ist es die dem Stromlinienkörper unmittelbar anhaftende Flüssigkeits-, resp. Gashaut (die infolge der Oberflächenreibung keine oder nur eine ganz

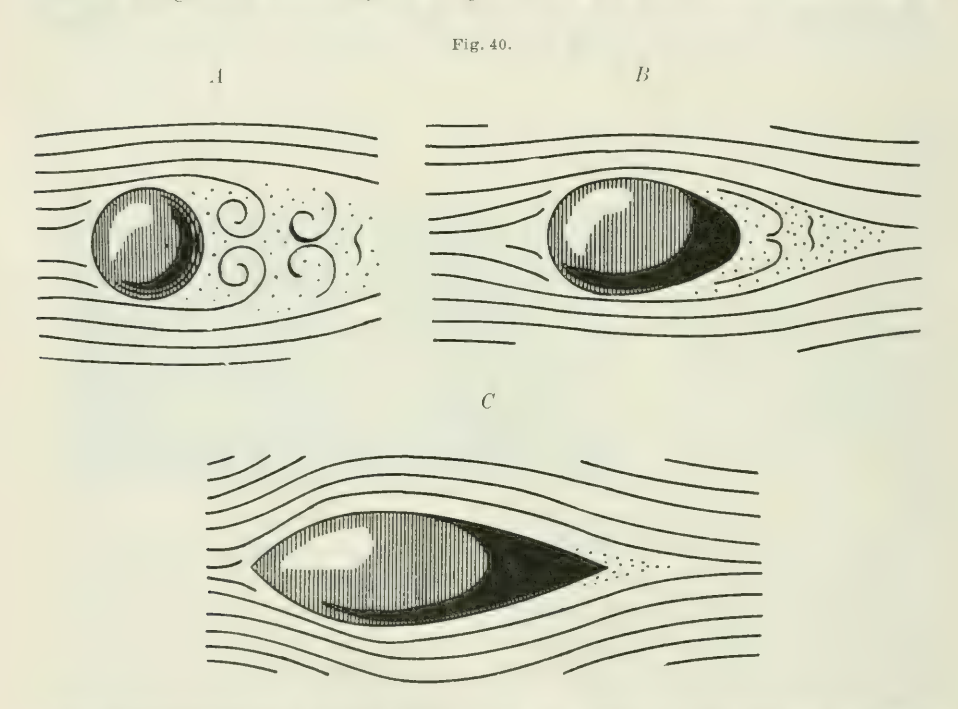
[1]) *G. H. Bryan*, Nature, 82, p. 408 (1910).

[2]) *L. Prandtl*, Heidelberger Kongreßverhandlungen. 1909, S. 484. — Ferner *H. Blasius*, Dissertation. Göttingen 1907. *E. Boltze*, Dissertation. Göttingen 1908 u. a.

geringe Bewegung in der Stromrichtung besitzt), welche unter bestimmten Bedingungen und an bestimmten Stellen der Leeseite des Körpers den Anstoß zur Wirbelbildung zu geben vermag. So sehen wir die innere Reibung des strömenden Mediums wie auch seine Oberflächenreibung am Körper Einfluß auf den Widerstand gewinnen und werden auch diese Größen zu den Bestimmungsstücken aërodynamischer Probleme zu rechnen haben.

Während beim Wasser die Zusammendrückbarkeit keine nennenswerte Rolle bei der Beurteilung des Widerstandes spielt, haben wir bei der stömenden Luft und ihrem Auftreffen auf ein Hindernis diesem Umstande weitgehend Rechnung zu tragen. Es wird sich zu der Beurteilung

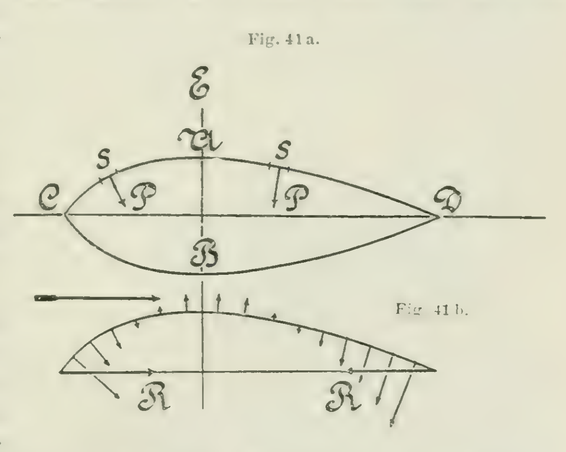
Fig. 40.



des aërodynamischen Feldes hinsichtlich der Stromrichtung noch die Druckauswertung des Feldes gesellen müssen in dem Sinne, daß an jeder Stelle der Umgebung des vom Strome getroffenen Körpers der Wert des Druckes genau gemessen wird. Stellen gleichen Druckes werden sich dann auf „isobarischen Flächen“ vereinigen lassen.

7. Der theoretische Fall eines anschmiegend umflossenen Stromlinienkörpers soll uns als Ausgangspunkt der Abteilung wichtiger Prinzipien dienen. Der fischförmige Körper in Fig. 41 a werde von den Stromlinien ohne Bildung „toten Wassers“ eingehüllt. Zur Ermittlung der Druckkräfte, die auf den Körper infolge der Strömung einwirken, denken wir uns die Stromlinien als gespannte Fäden und führen eine mathematische

Entwicklung durch, die an dieser Stelle nur durch ihr Resultat angedeutet werden kann. Durch den größten Querschnitt AB unseres Körpers legen wir die zur Achse CD senkrechte Ebene E, welche die Luvseite des Körpers von der Leeseite trennt. In jedem Oberflächenelement s des Körpers denken wir uns nun den Druck P gemessen, der von den dem Körper unmittelbar anliegenden, ihn umfließenden Stromlinien ausgeübt wird und finden nun die auf den ersten Blick etwas befremdend anmutende Druckverteilung, welche in Fig. 41 b angedeutet ist und welche uns deutlich zeigt, daß der Druck auf das Vorderteil unseres Stromlinienkörpers von der Spitze nach den Flanken zu abnehmend daselbst sein Vorzeichen wechselnd, teilweise durch den Druck auf die schlanker verlaufende Leeseite, der ebenfalls nach der Spitze zu wächst, aufgehoben wird, ja die rein mathematische Theorie der sog. Potentialströmung besagt, daß die axial gerichtete Resultante R des Druckes auf die Luvseite von der entgegengesetzt gerichteten Resultante — R des Druckes auf die Leeseite gerade vernichtet wird. Der Widerstand eines vollkommenen Stromlinienkörpers gegen eine reibungslose Flüssigkeit ist also gleich Null. Dem widersprechen natürlich die Tatsachen; wir verstehen also, warum nach korrigierenden Faktoren gesucht werden mußte und wie *Prandtl* in seiner Theorie der Wirbelablösung auch eine wertvolle Anpassung der mathematischen Formulierungen an die Wirklichkeit geben konnte. Immerhin werden wir in der möglichst exakten Annäherung an den vollkommenen Stromlinienkörper die Form geringsten Strömungswiderstandes erkennen. Zunächst wird sich also unser Augenmerk auf die Druckverteilung auf der Oberfläche des Körpers und dann auf die Druckverteilung im aërodynamischen Felde zu richten haben. Beide Aufgaben haben experimentelle Lösungen gefunden, die im folgenden besprochen werden sollen

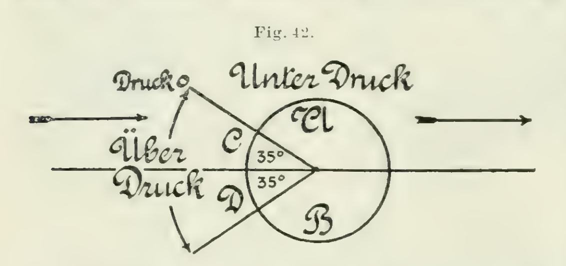


8. *Recknagel*[1]) war wohl der erste, der (1880) den statischen Überdruck messend verfolgte, wie er vor einer durch die Luft bewegten Platte entsteht. In der Mitte seiner Luftwiderstandsplatte brachte er eine feine Bohrung an, die durch eine Rohrleitung mit einem Manometer in Verbindung stand. Wurde die Platte nun mit der Öffnung voran rasch im Kreise herumgeführt (sog. Rundlaufapparat), so zeigte das Manometer einen bestimmten, von Plattenformat und Drehgeschwindigkeit abhängigen

[1]) *G. Recknagel,* Annalen der Physik. Bd. 10, S. 677 (1880).

Überdruck an, der von der Stauung der Luft vor dem bewegten Körper herrührte. *Recknagel* gab auch eine anschauliche mathematische Darstellung seiner experimentellen Resultate. Nach ihm ist die Methode des Anbohrens der zu untersuchenden Körper zum Zwecke der Druckmessung an den betreffenden Stellen häufig verwandt worden. Die Ingenieure *Irminger* und *Vogt*[1]) studierten so die Druckverteilung auf kleinen Nachbildungen im großen ausgeführter Bauten zur Beurteilung der Druckverteilung, die sich bei Wind auf der Oberfläche von Häusern, Kuppeln usw. einstellt. Die Druckverteilung auf einer Platte, die unter verschiedenen Winkeln zu einem Luftstrome geneigt wird, bildet den Gegenstand einer besonderen Untersuchung. Eine große Zahl von Messungen, die sich auf verschiedene Fragen, Form und Beschaffenheit der zu untersuchenden Körper betreffend, beziehen, hat *Lafay*[2]) nach der manometrischen Methode (die er übrigens *Athanase Dupré*) zuschreibt) ausgeführt. Bei einem horizontal getroffenen Zylinder zeigt sich die Umkehrzone, d. h. die Zylinderkante, von der ab der Überdruck auf der Luvseite in den Unterdruck der Leeseite übergeht, schon bei einem Winkel von 35—40° (vgl. Fig. 42) und nicht erst bei 90°, also der höchsten Zylinderkante. Der horizontal liegende Zylinder ist somit weit von der idealen Stromlinienform entfernt. Sein „totes Wasser" beginnt beispielsweise bei 18 M/Sek Geschwindigkeit des Luftstromes bereits weit vor dem „größten Durchmesser" AB, nämlich an den Stellen C und D. Schon hier wird die Wirbelablösung einsetzen. Noch eine Menge hübscher Einzelheiten und wichtiger Gesichtspunkte können wir den *Lafay*schen Arbeiten entnehmen. So ist es für den Gesamtdruck des Luftstromes auf den eben betrachteten Zylinder nicht gleichgültig, ob die Rückseite gerauht, die Vorderseite, die dem Winde zugekehrt wird, poliert ist oder ob die Oberflächenbeschaffenheit anders verteilt wird. Eine passende Rauhung der dem Luftstrome abgewendeten (Lee-) Seite bewirkte eine Abnahme des Unterdruckes, also eine Veränderung des „toten Wassers" hinter dem Zylinder. Sogar eine ungleichmäßige Erwärmung des eingetauchten Körpers änderte die Widerstandsverhältnisse. Dieser zunächst scheinbar fernliegende Umstand, die ungleichmäßige Erwärmung des widerstehenden Körpers zu berücksichtigen, gewinnt an Interesse sowie man bedenkt, daß beim Vogelflügel, dessen muskulöse Teile infolge der hohen Bluttemperatur der Vögel viel wärmer sind wie die unbelebten, aus Federn bestehenden Flügelenden, solche Temperaturunterschiede doch von Einfluß sein

Fig. 42.



[1]) *J. Irminger* und *H. C. Vogt*, Engineering, 1895, S. 787.

[2]) *A. Lafay*, Comptes rendus. 151, p. 144, 671, 1312 (1910).

könnten. *Lafay* zeigte z. B., daß eine Erwärmung des Indifferenzgebietes bei C, resp. D (Fig. 42) denselben Einfluß ausübe wie eine Rauhung der Leeseite des Zylinders, den Druck auf der abgewendeten Seite also etwas erhöhe.

Für den Lenkballon ist eine möglichst enge Annäherung an die Stromlinienform von größtem Werte, sucht man doch durch richtige Formgebung den schädlichen Widerstand des ganzen Ballonkörpers tunlichst zu verringern. Zieht man aber die Umstände in Betracht, welche uns nötigen, von der mathematisch ableitbaren günstigsten Form abzuweichen, nämlich die Oberflächenreibung und die *Prandtl*sche Wirbelablösung, so sieht man sich genötigt, die vorteilhafteste Gestalt auf rein experimentelle Weise zu ermitteln, eben indem man durch Messung der Druckverteilung längs einer Seitenkante die günstigste Form auf dem Wege der Annäherung zu ermitteln strebt. In dieser Richtung arbeitet unter anderen das Göttinger aërodynamische Institut. An verkleinerten Nachbildungen verschiedener Lenkballonformen werden einerseits Messungen des Gesamtwiderstandes ausgeführt, indem der Druck bestimmt wird, welchen ein Luftstrom auf das Modell in der Achsenrichtung ausübt, andrerseits sucht man dieselbe Kraft aus der Druckverteilung der Luft über die ganze Oberfläche herzuleiten und aus der Vergleichung beider Größen Schlüsse auf die richtige Form des Ballonmodelles wie auch auf die Oberflächenreibung zu ziehen. Auf die interessanten Experimente kommen wir weiter unten zurück, nachdem einige notwendige Hilfsmittel zum Verständnis abgeleitet sein werden.

9. Ein kurzer Rückblick sei an dieser Stelle gestattet. Überschauen wir einmal kurz die gewonnenen Resultate, dann leuchtet jetzt schon ein, warum die herkömmliche Betrachtungsweise, vom einfachsten Idealfall auszugehen, um langsam zum verwickelteren zu gelangen, hier versagt. Ein scheinbar einfacher Fall z. B. wäre die umströmte Kugel gewesen, wir haben aber die Vorgänge im „toten Wasser" als recht komplizierte kennen gelernt, um diese also zu vereinfachen, müssen wir zum Stromlinienkörper greifen, bei welchem das „tote Wasser" auf ein Minimum reduziert ist (für seine Potentialströmung sogar gänzlich unterdrückt wäre), der Stromlinienkörper selbst aber ist schon kein einfacher Fall mehr, von dem aus eine Betrachtung begonnen werden könnte, da zur Erkenntnis seiner Existenzmöglichkeit viele Voraussetzungen unumgänglich notwendig sind. Wollen wir die Luftwiderstandsverhältnisse irgend eines Körpers studieren, so fragen wir heutzutage nicht nur wie früher, wie sieht die Luvseite des Körpers aus, sondern wir berücksichtigen auch die Leeseite in allen ihren Eigenschaften, da wir gelernt haben, daß manchmal die Form der dem Luftstrome abgekehrten Seite des Körpers von größerem Einflusse auf den Widerstand ist wie die Stirnseite. Das haben die Erbauer von Lenkballonen schon längst eingesehen und geben den Gashüllen ihrer Luftschiffe eine nach beiden Seiten spitz zulaufende Gestalt. Wie noch später besprochen werden soll, führt man dabei den Stromlinienkörper immer mit der stumpferen Spitze voran. Messungen haben gezeigt, daß der Luftwiderstand im eben beschriebenen Falle um mehr als die Hälfte kleiner

sein kann wie im Falle, daß wir die schlankere Spitze voranführen: das sind aber Verhältnisse, die wir nicht bloß mit dem „gesunden Menschenverstande", sondern nur durch gewissenhafte theoretische und experimentelle Arbeit als maßgebend anerkannt haben.

Gerade die Lage der Umkehrzone des Druckes an der Oberfläche eines umströmten Körpers gibt zu auffallenden Erscheinungen Anlaß, die sich oft nicht voraussehen ließen, weil man den Ort dieser Umkehrzone anderswo vermutete. Er ändert, wie *Lafay* zeigte, mit der Windgeschwindigkeit seine Lage und so verstehen wir eine paradox anmutende Beobachtung, die bei Versuchen der Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen gemacht wurde.[1] Die Geschwindigkeit des Wagens konnte von 5 bis 58 *M/Sek* variiert werden und man stellte manometrische Messungen an Stirn- und Seitenflächen des fahrenden Wagens an. Durch eine zufällig zerbrochene Fensterscheibe an einer der vorderen Wagenecken trat nun die Luft aus dem Innern des Wagens kräftig aus, wurde also nicht, wie eine recht natürliche Überlegung gesagt haben würde, ins Innere des Wagens geblasen. Wir verstehen sofort, daß eben die Öffnung in der Fensterscheibe schon hinter der Umkehrzone, also im Gebiete des Unterdruckes lag, welches bei der hohen Eigengeschwindigkeit des Wagens stark gegen die Spitze hin gerückt war.

10. Gewähren die Druckmessungen auf der Oberfläche der Körper schon einen interessanten Einblick in den Mechanismus der Umströmung, so liegt die Frage nach der Druckverteilung im aërodynamischen Felde nahe. Wir gewinnen erst dadurch, daß wir nicht nur den Stromlinienverlauf, sondern auch die räumliche Druckverteilung in der Umgebung des Körpers kennen lernen, eine quantitative Auswertung des aërodynamischen Feldes. Solche Messungen sind aber vielen Fehlerquellen unterworfen und infolgedessen, will man die Fehler auf ein Mindestmaß herabdrücken, mit gewissen experimentellen Schwierigkeiten verknüpft. Worin diese Schwierigkeiten bestehen und wie ihre Hebung versucht worden ist, soll im folgenden dargelegt werden:

Auf der Luvseite ist die Stauung der Luft, der Überdruck nicht allein an der Oberfläche des Körpers, sondern noch in recht beträchtlicher Entfernung von demselben vor der Stirnseite nachweisbar. Ebenso zieht er hinter sich gleichsam eine Schleppe von Unterdruck her. Diese Umstände manometrisch zu studieren wird Aufgabe eines besonderen Instrumentes, einer manometrischen Sonde, sein. Das Göttinger Versuchslaboratorium besitzt eine solche Einrichtung[2], deren Konstruktion dem Verfasser jedoch unbekannt ist. Er hat es seinerzeit unternommen, selbst ein solches Meßinstrument zu schaffen[3], um das aërodynamische Feld verschiedener Körper

---

[1]) *H. Zimmermann,* Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1907, S. 874.

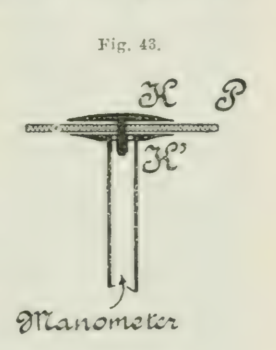
[2]) *L. Prandtl,* Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing. Bd. 33, S. 1716 (Fig. 12) 1909.

[3]) *H. Zickendraht,* Ann. d. Physik, IV, 35, S. 59 (1911). Die manometr. Sonde wird von der Firma Fr. Klingelfuß & Co. in Basel hergestellt und ist derselben geschützt.

quantitativ auswerten zu können und gleichzeitig ein Demonstrationsinstrument für die Vorlesung zu gewinnen.

In einem Luftstrome herrsche in irgend einem Punkte etwa infolge einer Stauung ein kleiner Überdruck über den Druck der Umgebung: mittels einer „Sonde" soll dieser Überdruck aufgenommen und an einem empfindlichen Manometer gemessen werden. Es liegt nun die Überlegung nahe, an die betreffende Stelle die Mündung eines feinen, mit dem Manometer durch Rohrleitung verbundenen Röhrchens zu setzen, in welches solange Luft einströmt (bzw. aus dem solange Luft ausgesogen wird), bis das Manometer den an der betreffenden Stelle herrschenden Druck angenommen hat und anzeigt. Daß dieses Verfahren gründlich verfehlt ist, leuchtet sofort ein, wenn man bedenkt, daß je nach der Stellung dieser feinen Rohrmündung zum Luftstrome entweder eine Druck- oder eine Saugwirkung durch den vorbeistreichenden Luftstrom erzielt wird. Diese Verhältnisse finden sich ausführlich erörtert in einer sorgfältigen Arbeit von *O. Krell*[1], wo wir aus den dort gegebenen Diagrammen den großen Einfluß der Rohrstellung zum Luftstrome erkennen können und dabei sehen, daß die Unterschiede der Druckangaben, die infolge Veränderung der Rohrstellung auftreten, die kleinen Spannungsdifferenzen, die wir messen wollen, vollständig überdecken würden. Es galt also, die schädliche Randwirkung auf ein Minimum herabzudrücken, so daß die Sonde im freien ungestauten Luftstrome in allen Stellungen keinen Druckunterschied gegenüber der ruhenden Umgebung anzeigt, jedoch sofort reagiert, wenn durch ein Hindernis die Druckverteilung im Felde geändert wird. Das Problem ist mehrfach zu lösen versucht worden. Am besten entspricht den Erwartungen wohl der sog. Nipher-Kollektor[2], bei welchem durch eine am Rande vorstehende Packung P in Fig. 43 von feinem Drahtnetze zwischen zwei parallelen Kreisscheiben K und K' als Sondenkopf die Randwirkung bis zu einem gewissen Grade aufgehoben worden ist. Die Nachteile des Nipher-Kollektors sind seine durch die Tellerform bedingte Unhandlichkeit, es ist nicht möglich, die allernächste Umgebung eines Körpers damit abzutasten, und ferner die allzuleichte Verletzlichkeit der Drahtnetzpackung P: wird dieselbe auch nur wenig verbogen, so ist die Justierung gestört und die Meßwerte werden unbrauchbar. *Krell* hat die Dimensionen des Nipher-Kollektors herabgesetzt und durch sternförmige Ausbildung der beiden Kreisplatten die Verletzbarkeit verringert. An Hand einer Tabelle gibt er recht gute Resultate über die Unempfindlichkeit des Kollektors gegenüber ungestauten Luftströmen an, von der Neigung der Scheiben K und K' zum

Fig. 43.



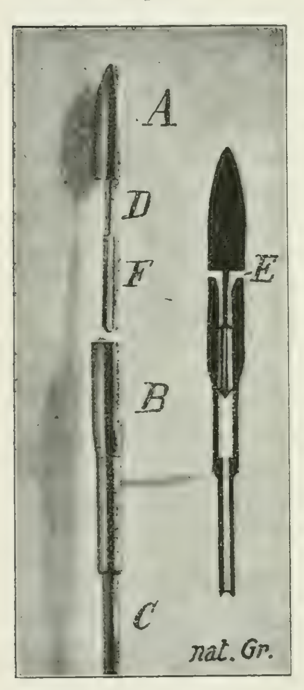
[1]) *O. Krell* jun., Über Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft. R. Oldenbourg, München und Berlin 1904.

[2]) *Fr. E. Nipher,* Transactions of the academy of Science of St. Louis 1898.

Luftstrome sind jedoch die Angaben nicht unabhängig. Am besten funktioniert der Apparat, wenn seine Scheibe senkrecht zum Luftstrome gestellt wird, er selbst bringt dann aber durch seine verhältnismäßig großen Dimensionen eine nicht unbeträchtliche Störung der Verhältnisse hervor.

Von einer guten aërodynamischen Sonde muß aber verlangt werden, daß sie die zu sondierende Strömung durch ihre Anwesenheit so wenig wie möglich beeinflußt, daß sie einer Änderung der Verhältnisse rasch folgt, also selbst nur eine geringe Trägheit der Einstellung besitzt und schließlich in jeder Lage und bei allen Luftstromgeschwindigkeiten richtig funktioniert, schließlich darf sie in ihrer Konstruktion nicht allzu empfindlich gegen äußere mechanische Einflüsse sein.

Fig. 44.

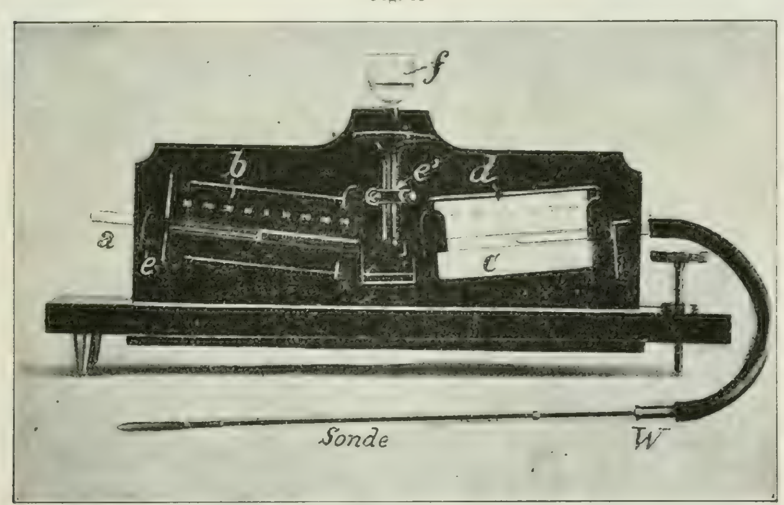


Diese Ziele zu erreichen ist innerhalb eines gewissen Geschwindigkeitsbereiches gelungen, immerhin ist die Lösung des Problems nur als eine angenäherte zu betrachten. Die Randwirkung an einer kreisförmigen Öffnung wird nahezu vollständig dadurch aufgehoben, daß man der Öffnung die Gestalt eines ringförmigen Spaltes gab. Die neue Drucksonde Fig. 44 besteht aus zwei Stahlkörpern, dem Kopfe A und dem Halse B. In B befindet sich die trichterförmige Mündung des Manometerrohres C, und zwar wird die Trichterfläche durch eine Rotationsfläche mit ganz bestimmter, empirisch gefundener Erzeugenden gebildet. In diesem Trichter steckt der Kopf A der Sonde, dessen Länge eine wichtige Rolle bei der Wirkung des Apparates spielt. Zwischen dem Kopfe A und der Öffnung des Halses B entsteht der ringförmige Spalt E und es wird die richtige Justierung lediglich durch Regulieren der Spaltweite E vorgenommen, indem man den Kopf A mehr oder weniger vom Halse B entfernt. Kopf und Hals bilden zusammen einen Körper von angenäherter Stromlinienform und sollen eben die zu untersuchende Strömung möglichst wenig deformieren. Es entstehen nun offenbar zwischen Kopf A und Hals B unter Einwirkung des dem Trichter koaxialen Zylinders D von ganz bestimmter Länge und Dicke turbulente Luftbewegungen, welche die Randwirkung in jeder Lage der Sonde zum Luftstrome nahezu vollständig aufheben.

Die Kommunikation zwischen dem zu untersuchenden Luftstrome und dem Manometer ist durch die Hohlkehlen im Führungsstücke F gewährleistet, so daß das Manometer fast augenblicklich den Druck an der Stelle des aërodynamischen Feldes annimmt, an welche der Spalt der Sonde gebracht wurde.

Das Manometer ist in Fig. 45 dargestellt, es ist, um eine große Empfindlichkeit zu erzielen, nach dem von *A. Toepler* angegebenen Prinzip als sogenannte Drucklibelle konstruiert. Bei diesem Instrumente sind die beiden Schenkel eines gewöhnlichen U-Rohrmanometers unter sehr stumpfem Winkel zueinander gestellt, wodurch eine Erhöhung der Empfindlichkeit in bestimmtem, durch einen einfachen mathematischen Ausdruck darstellbarem Maße erzielt wird. Die Konstruktion der Drucklibelle in Fig. 45 erlaubt gleichzeitig die Vorführung der Druckänderungen in Projektion, zu welchem Zwecke der eine Schenkel des Manometerrohres mit transparenter Skala d versehen ist. — Ebensogut wie der angeführten Drucklibelle kann man sich auch eines Mikromanometers (wie es die Firma Fuess in Berlin herstellt) (Fig. 46) oder eines ähnlichen Meßapparates bedienen, um die kleinen Druckschwankungen nachzuweisen.

Fig. 45



Um schließlich den Ort der Sonde im aërodynamischen Felde festzulegen, gebraucht man irgend eine Einrichtung, etwa den in Fig. 47 wiedergegebenen Koordinatenapparat, mit Hilfe deren man den Vertikal- und den Horizontalabstand der Sonde S (an den Skalen U und Q ablesbar), von einem festen Koordinatenanfangspunkte im aërodynamischen Felde aus gerechnet, messen kann. (Der abgebildete Apparat liefert bloß die Koordinaten in einer Ebene, da es aus Symmetriegründen für viele Probleme genügt, die Verhältnisse in einer Ebene zu studieren.)

Ganz oberflächliche Vorversuche mit der manometrischen Sonde zeigen uns, daß sich vor einem umströmten Körper ein ausgedehnter Raum ausbildet, in welchem der Druck größer ist wie in der frei strömenden ungestauten Umgebung. Diese Stauung kann sich recht weit nach vorne erstrecken und erweckt unser Interesse hauptsächlich hinsichtlich der

*v. Loessl*schen Stauhügeltheorie des Luftwiderstandes, auf die wir noch zurückkommen werden. Besonders wertvoll werden die Druckmessungen aber

Fig. 46.

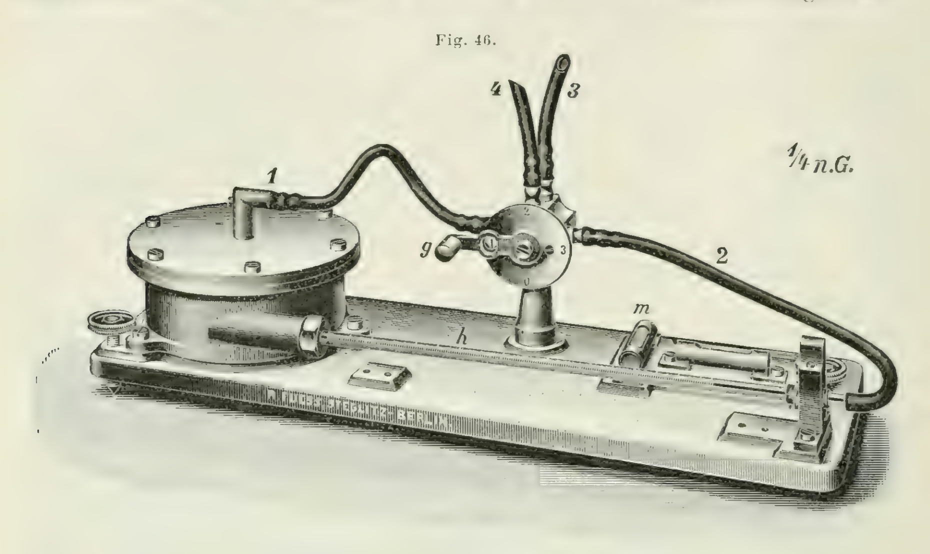
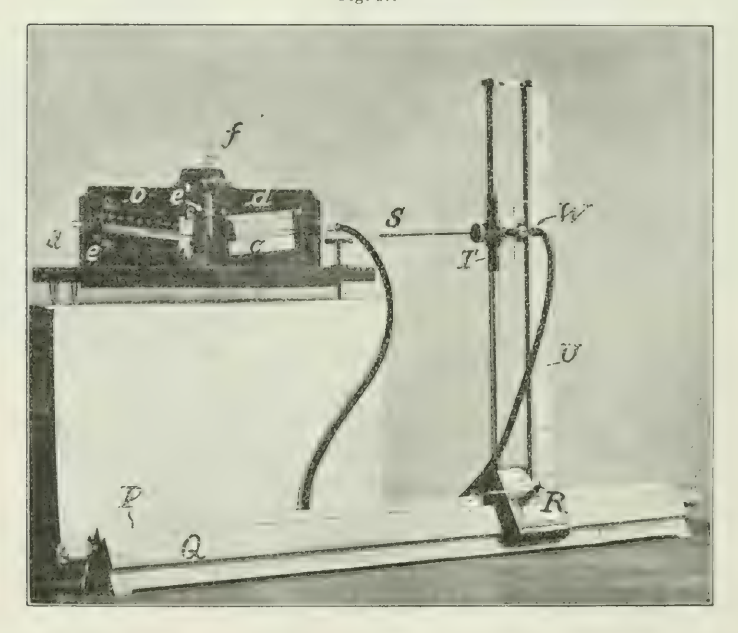


Fig. 47.



auf der Leeseite des Körpers; wir werden daselbst Gelegenheit haben, sowohl Maxima des Unterdruckes als auch Maxima von Überdruck zu beobachten. Erst diese Druckmessungen im Verein mit den Stromlinien-

bildern vermögen das Bild der Vorgänge im „toten Wasser“ vollständig klarzulegen.

Die Mittel sind uns nun gegeben, mit Hilfe derer wir uns eine Vorstellung von der Art und Weise machen können, wie bewegte Luft einen Körper umströmt und wie die Druckkräfte entstehen, die auf ihn einwirken; vom allgemeinen Falle des beliebigen Körpers werden wir aber nun zu speziellen Annahmen über die Form und Beschaffenheit des Versuchsobjektes übergehen müssen.

Die ebene Platte.

11. Zwei Wege stehen dem Forscher offen, den Luftwiderstand eines Gebildes zu ermitteln: der eine Weg, allerdings der mühsamere, beginnt mit dem Studium des aërodynamischen Feldes und bewertet die auf den Körper wirkenden Kräfte lediglich aus der Druckverteilung und den Strömungsrichtungen in der Umgebung des Versuchsobjektes. Der andere Weg bedarf eines Meßapparates, mittelst dessen die am Körper angreifenden Kräfte direkt ihrer Richtung und Größe nach bestimmt werden, er führt schneller zum Ziele, sagt aber nichts über die Vorgänge selbst aus, die den Luftwiderstand wecken.

Als Versuchskörper sei nun das klassische Beispiel der ebenen Platte von einfacher Umrißform (Kreis, Quadrat, Rechteck) senkrecht zum Luftstrome gewählt, und zwar beginnen wir mit der

Herleitung des Luftwiderstandes aus den Eigenschaften des aërodynamischen Feldes.

Von den Vorgängen auf der Luvseite der Platte hat sich *v. Loessl* ein eigenartiges Bild gemacht, welches, wenn es tatsächlich den wirklichen Vorgängen entspräche, den Luftwiderstandsgesetzen so einfache mathematische Formen geben würde, daß auch wir, wie *v. Loessl* es tut, bekennen müßten, „durch ihre Kürze und Einfachheit selbst überrascht worden zu sein“.[1]) Diese einfachen Gleichungen gewinnt ihr Urheber nämlich aus der Annahme eines Luftstauhügels, der sich vor der Fläche ausbilden soll, sie vollständig bedeckt, und „von den Rändern der Fläche ausgehend mit Böschungen umkleidet ist, welche allseits den gleichen Winkel und zwar von 45° gegen die Bewegungsrichtung (*v. Loessl* denkt sich die Fläche gegen die ruhende Luft geführt) sowie auch gegen die Flächenebene besitzen, und nach oben in eine Spitze oder Schneide mit 90° zusammenlaufen“.[2]) Die Böschung des Hügels wird von der Luftstromgeschwindigkeit nicht beeinflußt, wohl aber der Stauungsdruck im Innern, der in allen Punkten des Stauhügels als gleich groß angesehen wird. Überhaupt dient der Stauhügel „als eine an die bewegte Fläche angesetzte Spitze oder Keil-

---

[1]) *v. Loessl,* Luftwiderstandsgesetze, S. 147.

[2]) Ibid., S. 31.

schneide, mittels deren die vorher stumpf gewesene Flächenstirne in das Luftmedium leichter einzudringen und dasselbe zu zerteilen oder vielmehr auseinander zu spalten vermag".[1]) Trifft ein Luftstrom unsere Fläche, so entsteht augenblicklich dieser schneiden- oder keilförmige Stauhügel und alle weitere ankommende Luft fließt zu beiden Seiten desselben ab; die Leistung aber, welche zur Verdrängung dieser Luftmenge pro Sekunde notwendig ist, läßt sich nach *v. Loessl* durch die einfache Gleichung

$$L = \frac{v^3 F . \gamma}{g} \tag{1}$$

ausdrücken, wobei v die Geschwindigkeit des Luftstromes, F die Oberfläche der Platte, γ das spezifische Gewicht der Luft und g die Beschleunigung der Schwerkraft bedeuten.

Da die Leistung L gleich der Arbeit A pro Zeiteinheit, also $L = \frac{A}{t}$ und die Arbeit A gleich Kraft (Luftwiderstand) mal Weg $A = P . s$ ist, so können wir auch schreiben:

$$L = \frac{A}{t} = P . \frac{s}{t}.$$

Der Quotient $\frac{s}{t}$ stellt aber nichts anderes als die Luftgeschwindigkeit v dar, indem ein Luftteilchen während der Zeit t den Weg s zurücklegt, also daß

$$L = P . v \text{ oder } P = \frac{L}{v}$$

wird, und es folgt also aus Gleichung (1) der Luftwiderstand einer senkrechten Platte

$$P = \frac{\gamma}{g} F v^2 \tag{2}$$

Berechnen wir nun noch den Koeffizienten $\frac{\gamma}{g}$ für 0° und einen Barometerstand von 760 *mm*, wobei $\gamma = 1{\cdot}293$ *kg*, das Gewicht eines Kubikmeters Luft und $g = 9{\cdot}81 \frac{m}{Sek^2}$ die Schwerebeschleunigung bedeuten, so finden wir

$$P = 0{\cdot}132 . F . v^2 \tag{3}$$

als Druck eines Luftstromes auf eine Platte in Kilogramm gemessen, wenn die Fläche in Quadratmetern, die Luftgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde angegeben werden.[2])

Diese Formel P enthält zwei Gesetze, die wir an dieser Stelle schon aussprechen wollen, wenn auch ihre nähere Erörterung noch etwas hinausgeschoben werden muß.

---

[1]) Ibid., S. 33.

[2]) Es sei gestattet, die Größen im alten Maßsysteme anzugeben, um die unbequem großen Zahlen des CGS-Systemes zu umgehen.

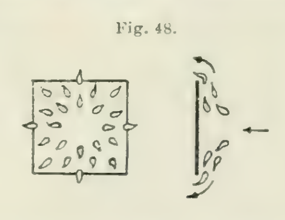
Das erste Gesetz lautet: Der Druck auf eine zum Luftstrome senkrechte Fläche wächst mit dem Quadrate der Luftgeschwindigkeit (Quadratgesetz von *Newton*).

Das zweite Gesetz lautet: Der Druck auf eine zum Luftstrome senkrechte Fläche wächst cet. par. proportional dem Inhalte derselben (Flächengesetz).

12. So verlockend anschaulich auch die Überlegungen *v. Loessls* sind, so können wir uns doch dieser Betrachtungsweise nicht rückhaltlos anschließen. Von den Vorgängen auf der Leeseite sagt er z. B. kein Wort, obwohl sich im toten Wasser wichtige Prozesse abspielen, die von großem Einfluß auf den Gesamtdruck sind. Auch zu der Vorstellung einer ruhenden Luftmasse im Innern des Stauhügels können wir uns eben nicht bequemen, obwohl der Autor dieser Theorie durch viele Flämmchenversuche[1]) uns von der Richtigkeit dieser Anschauungen zu überzeugen versucht.

Sehen wir uns die Strömungsbilder von *Ahlborn* für Wasser, diejenigen von *Eiffel* für Luft an, welche sich auf die ebene, senkrecht beaufschlagte Platte beziehen, so müßte doch der Stauhügel durch irgend ein Anzeichen kenntlich sein: von alledem ist aber nichts zu bemerken. Verfasser hat selbst mit feinen Gasflämmchen Versuche angestellt und ist zu der Überzeugung gelangt, daß von ruhender Luft vor einer umströmten Platte keine Rede sein kann, wenn schon die Geschwindigkeit der Strömung infolge der Stauwirkung mit abnehmendem Abstande von der Platte beträchtlich (aber stetig) abnimmt und als adhärierende Oberflächenschicht schließlich eine Zone ohne Bewegung angenommen werden kann.

Fig. 48.



Die Luft strömt eben auf die Platte zu und fließt mehr oder weniger symmetrisch nach allen Seiten ab. Ein Flämmchen nimmt dicht vor der Plattenfläche die in Fig. 48 angegebenen Stellungen ein und verrät dadurch deutlich die Richtung der Stromlinien.

Auch die Auffassung, als wäre der Druck im Stauhügel überall gleichmäßig verteilt, ist tatsächlich unrichtig, wie eingehende Sondenversuche gezeigt haben: vom Mittelpunkte der Plattenoberfläche ausgehend nimmt der Überdruck, wie Fig. 49 an einem speziellen Beispiele zeigt, in der Achse mit wachsendem Abstande nach einer bestimmten Funktion ab.

Die Druckverteilung über einem Durchmesser unmittelbar auf der Oberfläche der Platte ist ebenfalls keine gleichmäßige, indem von der Mitte aus nach dem Rande zu ein Abfall des Druckes existiert, wie wir ihn bei Gelegenheit der Berechnung des Luftwiderstandes aus den Daten des aërodynamischen Feldes noch kennen lernen werden.

Wir wählen zu dem letztgenannten Zwecke, wie es der Verfasser gemeinsam mit Herrn Dr. *S. Räber* getan hat, eine kreisförmige dünne

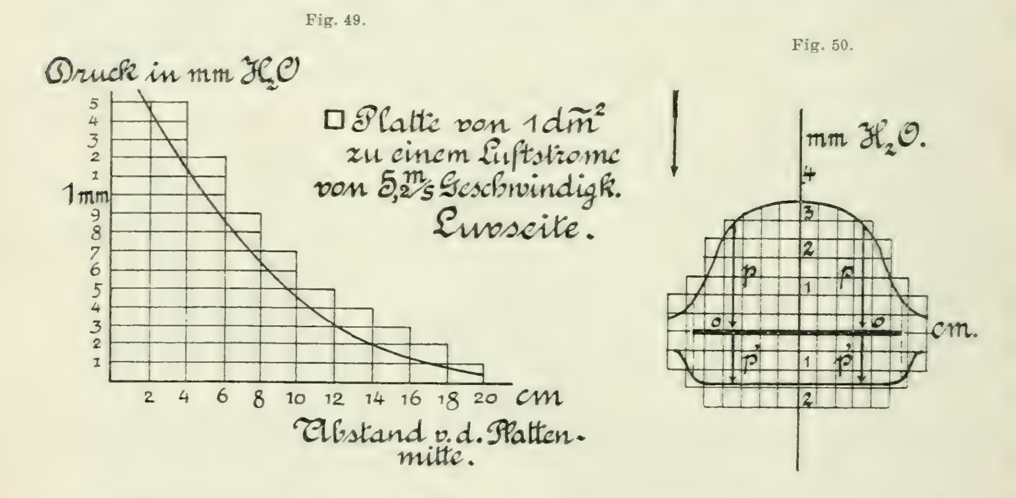
[1]) Vgl. *v. Loessl*, Luftwiderstandsgesetze, S. 34.

Scheibe von genau 1 cm^2 Oberfläche, gegen welche ein gleichmäßiger Luftstrom von bestimmter Geschwindigkeit senkrecht gerichtet wurde. Mit Hilfe einer gut justierten Sonde an dem in Fig. 47 dargestellten Koordinatenapparate gelang es, die Druckverteilung unmittelbar an der Oberfläche über einen Durchmesser des Kreises befriedigend genau zu messen.

Auf jedem ringförmigen Flächenelement oo lastet auf der Leeseite der Druck p, zu welchem noch der Unterdruck p' auf der Leeseite im gleichen Sinne wirkend hinzutritt.

Die Kenntnis der in Fig. 50 durch die Kurven charakterisierten Funktion, welche den Druckverlauf vor und hinter der Platte angibt, bietet uns ein Mittel, den Überdruck auf der Luvseite wie die Wirkung des verminderten Druckes auf der Leeseite zu berechnen. Die im folgenden wiedergegebenen Zahlenwerte machen, einem noch ungenügenden Versuchsmateriale entnommen, keinen Anspruch auf große Genauigkeit, sie dienen lediglich

Fig. 49. Fig. 50.



zur Illustration der Methode, aus dem aërodynamischen Felde den Luftwiderstand eines einfachen Körpers zu berechnen. Wir werden später Gelegenheit haben, genauere Angaben bei anderen Körpern wiederzugeben.

Bei einer Luftgeschwindigkeit von 8 *m* pro Sekunde[1]) wurde für die Kreisplatte von 0·01 m^2 aus obigen Kurven gefunden:

Überdruck auf der Luvseite	0·0256 *kg*
Unterdruck auf der Leeseite	0·0141 „
Gesamtdruck	0·0397 *kg*

Nach Gleichung 3 hätte dieser Druck aber 0·0845 *kg* betragen sollen, so daß, wenn wir unseren Versuch durch eine Gleichung von der Form

[1]) Die Messungen litten unter den Veränderungen der Geschwindigkeit eines Luftstromes, der mittelst eines elektrisch angetriebenen Ventilators erhalten wurde. Unter den Spannungsschwankungen des städtischen Netzes änderte sich nämlich die Tourenzahl.

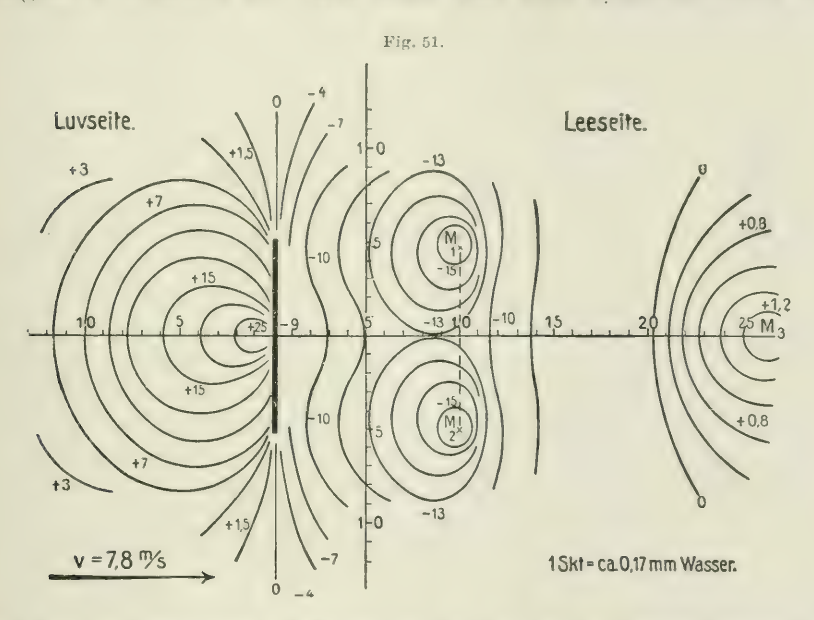
des Ausdruckes (2) wiedergeben wollen, noch ein verkleinernder Faktor ξ_w eingeführt werden muß, der somit lediglich die dem Luftstrome entgegengesetzte Fläche charakterisiert. Unsere Gleichung lautet dann:

$$\text{Luftwiderstand } P = \xi_w \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 \qquad (4)$$

und es wird im vorliegenden Falle $\xi_w = 0{\cdot}47$ werden. Wir können ξ_w als spezifischen Widerstand einer Kreisfläche von 0·01 m^2 bezeichnen.

13. Bis jetzt hatten uns bloß die Druckverhältnisse an der Oberfläche und an der Luvseite wenigstens in der Luftstromachse interessiert; eine Auswertung des Feldes in allen Punkten einer Ebene durch die Strömungsachse senkrecht zur Platte selbst (also einer Symmetrieebene) lohnt

Fig. 51.



sehr wohl die aufgewendete Mühe. In Fig. 51 ist ein solches aërodynamisches Feld durch die Kurven gleichen Druckes (Isobaren) dargestellt.

An dem in Zentimeter eingeteilten Koordinatensysteme lassen sich Distanzen und Größenverhältnisse leicht erkennen. Vor der quadratischen Platte von 1 dm^2 Oberfläche verlaufen die Kurven gleichen Stauungsdruckes sehr einfach, wir haben dem oben Gesagten nichts mehr hinzuzufügen; hinter der Platte aber, also auf der Leeseite, überblicken wir die interessante Druckverteilung im toten Wasser. Nach den auf Seite 52 erläuterten und durch die Fig. 39 daselbst veranschaulichten Angaben über die räumlichen Wirbel erkennen wir in den Zentren M_1 und M_2 die Schnittpunkte der kreisförmigen Achse des Wirbelringes, der sich hinter der Platte gebildet hat, mit der Untersuchungsebene, in der wir die Sonde verschoben. M_1 und M_2 sind Stellen geringsten Druckes und gleichzeitig Wirbelzentren, in welche die Luft tangential einströmt. Wie Fig. 51 zeigt, ist der Durch-

messer des Wirbelringes (am Durchmesser der Wirbelachse M_1 M_2 geschätzt) ungefähr gleich der Plattenbreite 10 *cm* und um etwa 9—10 *cm* steht im betrachteten Falle die Ebene des Wirbelringes von der den Luftstrom stauenden Platte ab.

In größerem Abstande hinter der Platte läßt sich aber mit Hilfe der Sonde noch ein schwaches Druckmaximum M_3 in der Achse liegend nachweisen, auf welches wir unsere Aufmerksamkeit richten müssen, da es in mancher Beziehung Aufschlüsse über den Strömungsmechanismus zu geben vermag und auch bei der zum Luftstrome geneigten Platte eine gewisse Rolle spielt.

Die Entstehung dieses Druckmaximums haben wir uns folgendermaßen zu denken: Auf die Platte trifft der Luftstrom mit mehr oder minder großer Heftigkeit auf. Rings um den Plattenrand fließt er ab und es werden die Bahnen der Teilchen, die sich am Rande vorbei bewegen, ähnliche Formen annehmen wie diejenigen, welche entstehen, wenn ein kompakter Wasserstrahl senkrecht auf eine Fläche auftrifft. Die eiförmige Fläche F, in Fig. 52 durch strömendes Wasser dargestellt, bildet sich auch in Luft als Hülle des „toten Wassers" aus; obgleich die Stromlinien in nächster Umgebung der Platte P divergieren, so vereinigen sie sich doch wieder in größerem Abstande hinter dem stauenden Körper, also bei M, und sind es auch bei dem hydrodynamischen Versuche, der uns ja nur als Bild dient, andere Gründe, die eine Zusammenziehung der Stromlinien bei M bewirken, so vermag uns doch Fig. 52 eine Anschauung von den aus Stromlinien gebildeten Stromflächen zu geben, wie sie hinter einer getroffenen Platte entstehen. Analog wie an dem sich verjüngenden Hinterende des reinen Stromlinienkörpers durch die Vereinigung der Stromlinien ein Überdruck entsteht, so bildet sich auch hier das Maximum M_3 im freien Raume aus. Ein Überdruck an irgend einer Stelle des Raumes kann aber nicht bestehen, es findet naturgemäß ein Druckausgleich und somit ein Strömen der Luft nach Stellen niederen Druckes statt. Diesem Abströmen stehen im vorliegenden Falle nur zwei Wege offen, der eine führt von M_3 aus axial mit der Strömung weiter, der andere aber ebenfalls in der Richtung der Achse verlaufend (denn alle anderen Richtungen sind durch die Hauptströmung verschlossen) wendet sich wieder der Platte zu und hat somit die entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom. Diese Erscheinung, die dem Hydrodynamiker längst bekannt war, wird als Vorstrom, Rücklauf oder auch Sog bezeichnet. So gut ein Strom also von vorne die Platte trifft, so sehen wir auch einen, wenngleich bedeutend schwächeren Strom von der Rückseite her auf die Platte wirken und ihren Gesamtwiderstand herabsetzen.

Fig. 52.



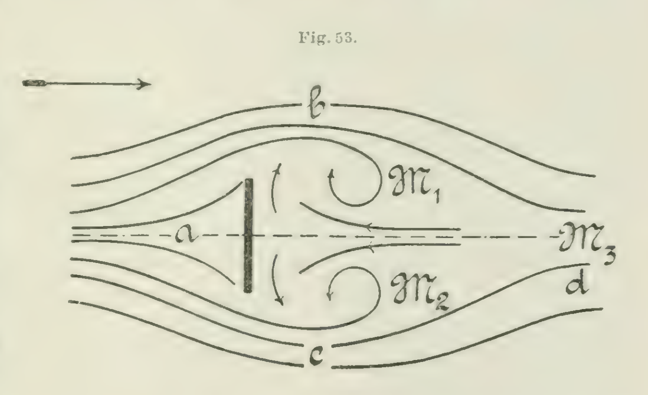
Die Existenz des Vorstromes kann nun auf verschiedene Weise demonstriert werden. Sein Vorhandensein läßt sich mit Hilfe von kleinen

Gasflämmchen leicht nachweisen, die zwischen dem Punkte M_3 und der Platte nach der Rückseite des stauenden Körpers zu gerichtet sind, während sie im Druckmaximum selbst gleichsam unschlüssig hin und her flackern, je nachdem sie einmal vom Hauptstrome oder vom Rücklauf erfaßt werden.

Daß der Luftwiderstand vom Vorstrome beeinflußt wird, möge ein Zahlenbeispiel zeigen. In einem Falle wurde bei 6·85 *m/sec* Luftgeschwindigkeit ein Gesamtdruck von 31·8 *g* auf einer quadratischen Platte von 1 *dm*² Oberfläche bei senkrechter Beaufschlagung gemessen. Durch eine kleine ebenfalls quadratische Platte von 5 *cm* Seitenkante, die in 5·5 *cm* Abstand hinter der ersteren aufgestellt wurde, gelang es, den Vorstrom zu unterdrücken, wodurch der Gesamtwiderstand sofort auf 33·5 *g*, also um 1·7 *g* stieg.

Wie die Druckminima als Wirbelzentren M_1 und M_2 entstehen, ist nicht schwer einzusehen. Der Hauptstrom hat bei seiner Umfließung der Platte den Raum hinter derselben etwas „ausgesogen" (Fig. 53).

Fig. 53.



Von der Achse her sucht der Vorstrom diesen Druckverlust wieder auszugleichen, er trifft die Platte von hinten, dehnt sich ebenso wie der Strom vor der Platte über sein Hindernis pinselförmig aus, steigert daselbst den Druck etwas und wird am Rande der Platte vom Hauptstrome zur Umkehr gezwungen. So entsteht die cyklische Bewegung, die den Anstoß zur Bildung des Wirbelringes M_1 M_2 gibt.

v. Loessl sagt in seinem Buche, daß sich die Natur in der Bildung des Stauhügels vor dem Hindernisse ein Hilfsmittel schaffe, welches das Umströmen des stauenden Körpers erleichtere. Der Gedanke an und für sich ist treffend, nur müssen wir den Begriff des *v. Loessl*schen Stauhügels eben etwas erweitern. Fig. 53 gibt uns einen Hinweis in diesem Sinne. Die Strömung selbst erzeugt in der Fläche bcd einen angenäherten, das Hindernis einschließenden Stromlinienkörper, der das „tote Wasser" mit seinen Unregelmäßigkeiten enthält und der außen regelmäßig umflossen wird.

Die Überdrucke vor, die Unterdrucke hinter dem Körper sind nun, wie die Angaben in Fig. 51 erkennen lassen, recht gering. Maximale Stauung finden wir vor der Plattenmitte mit 4·25 *mm* Wassersäule bei 7·8 *m/sec* Windgeschwindigkeit. Soll in der ruhenden Umgebung der Druck 760 *mm*

Quecksilber (Normalbarometerstand) betragen, was bekanntlich als Druck von 1 Atmosphäre bezeichnet wird, so herrschte im vorliegenden Falle vor der Plattenmitte ein Überdruck von 1·00041 Atmosphären.[1]) Beim selben Versuche lag der Druck in den beiden Minimis M_1 und M_2 2·55 *mm* Wassersäule unter dem Drucke des ruhenden Luftraumes, also, in anderen Einheiten ausgedrückt, 0·999753 Atmosphären, während schließlich im Druckmaximum M_3 nur 0·20 *mm* Wassersäule oder 1·00002 Atmosphären Überdruck erhalten wurde. Die Kleinheit der Druckunterschiede im aërodynamischen Felde macht eben die Verwendung empfindlicher Manometer zur Messung notwendig.

Direkte Messung des Luftwiderstandes.

14. Eine ganze Reihe von Methoden mit wechselnden Vorzügen und Nachteilen bietet sich dem Experimentator zur Bestimmung des Luftwiderstandes dar; wir wollen versuchen, die hauptsächlichsten kurz anzuführen und ihre Verwendungsgebiete zu charakterisieren, indem wir der vorzüglichen Darstellung von *Bendemann*[2]) folgen:

a) Der zu untersuchende Körper wird im Freien bei Windstille an einem auf gerader Bahn laufenden Wagen befestigt und so mit gleichförmiger Geschwindigkeit gegen die ruhende Luft geführt. Das aërodynamische Institut St. Cyr l'École besitzt eine 1400 *m* lange geradlinige Bahn, auf welcher sich ein elektrisch angetriebener Wagen mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen läßt und so große Flächen auf ihren Luftwiderstand zu prüfen gestattet. Für die Beurteilung der Kräfte, die den Aëroplan in den Lüften zu halten vermögen, die seine Steuerung bewirken sollen usw., sind solche Versuchseinrichtungen unerläßlich notwendig. Die Fehlerquellen liegen in der Veränderlichkeit des Bewegungszustandes der Atmosphäre, es wird sozusagen nie möglich sein, die für die Versuche notwendige absolute Windstille abzuwarten, so daß man gezwungen ist, selbstregistrierende Meßinstrumente für alle in Betracht kommenden Größen auf dem Wagen mitzuführen. Zu dieser Meßmethode gehört noch der Propellerwagen, dessen bei Besprechung der Luftschrauben gedacht werden soll.

b) Eine Abart des ersten Verfahrens ist die Untersuchung des Körpers bei regelmäßig beschleunigter Bewegung, wie sie beim Fallen eines Gewichtes entsteht. Ein auf ebener Bahn laufender Wagen wird durch ein Fallgewicht zu immer steigender Geschwindigkeit angetrieben und führt Untersuchungsobjekt und Meßapparate mit sich fort. Versuche sollen auf der kaiserlichen Werft in Kiel nach dieser Arbeitsweise im Gange sein.

Eiffel[3]) ließ die Meßfläche am Meßapparate, von einem Seile geführt, von der zweiten Plattform des 300-Meterturmes in Paris herunterfallen und

---

[1]) Vgl. hierüber *v. Loessl,* Luftwiderstandsgesetze, S. 63.

[2]) *F. Bendemann*, Zeitschr. d. Vereins Deutscher Ingenieure, Bd. 54, S. 889 (1910).

[3]) *G. Eiffel,* ibid., 54, S. 13 (1910).

bestimmte so die Widerstände seiner Untersuchungskörper. Das Verfahren hatte den großen Nachteil, daß das aërodynamische Feld durch den mitfallenden Meßapparat (Schreibtrommel mit Uhrwerk und Stimmgabelapparat zur Zeitmessung) stark verzerrt und der Luftwiderstand dadurch beeinflußt wurde. *Eiffel* scheint selbst von dieser Methode abgekommen zu sein und arbeitet jetzt nach Verfahren *d)*.

Hierher gehört endlich auch die eigenartige, von *v. Loessl*[1]) angegebene Einrichtung des „Wag-Apparates". Diese Vorrichtung besteht in einer einfachen Wage, welche an Stelle der Wagschalen zwei Versuchskörper trägt, der eine derselben dient als Normal für den anderen, indem der Luftwiderstand des Vergleichskörpers als Maßeinheit für den Druck genommen wird, der auf den zu untersuchenden Körper wirkt, wenn die ganze Vorrichtung durch ein Fallgewicht rasch in die Höhe gerissen wird. Obwohl die Grundidee die meisten Mängel anderer Einrichtungen umgeht, ist doch wieder die Manipulation mit diesem Wag-Apparate, wie ihn der Erfinder nennt, eine recht beschwerliche.

c) Bei der Pendelmethode, die von *Frank*[2]) in sorgfältiger Weise ausgebildet und zu genauen Messungen verwendet worden ist, hängt der zu untersuchende Körper an langen Fäden und wird pendelnd hin und her geführt. Aus dem Vergleich zwischen theoretisch berechenbarer Schwingungsdauer im absoluten Vakuum und gemessener Schwingungsdauer „im widerstehenden Mittel" läßt sich der Luftwiderstand des Pendelkörpers berechnen. Nachteilig ist jedoch erstens, daß eben die Bewegung keine gleichförmige ist; zwischen den beiden Umkehrpunkten, wo die Geschwindigkeit Null ist, liegt der Durchgang durch die Gleichgewichtslage mit maximaler Geschwindigkeit, ferner müssen die Pendelkörper des Hin- und Herganges wegen symmetrisch gebaut sein. Der erstere Übelstand, den man eben durch mathematische Überlegung, Berechnung des Widerstandes als Funktion der Geschwindigkeit in jedem Zeitmoment des Vorganges zu heben sucht, ist deswegen noch nachteilig, weil wir die Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschwindigkeit des Luftstromes bei kleinen Werten der letzteren Größe nicht genügend kennen; bei den verhältnismäßig kleinen Geschwindigkeiten, wie sie beim Pendel auftreten, wendet man das oben entwickelte Quadratgesetz nicht an, sondern begnügt sich oft mit der ersten Potenz der Geschwindigkeit. Das mag nun besonders in der Gegend der Umkehrpunkte vollkommen berechtigt sein, ist es möglicherweise aber nicht mehr beim Durchgang des Pendels durch die Gleichgewichtslage. Ferner haben wir es nicht mit einer gleichförmigen, sondern mit einer beschleunigten Strömung zu tun, ein Umstand, der die Messungsergebnisse stark beeinflussen kann. Trotz alledem wird man die mit großer Sorgfalt und Präzision ausgeführten *Frank*schen Versuche und Resultate voll zu würdigen wissen; wir kommen auf ihre Ergebnisse noch zurück.

---

[1]) *v. Loessl*, Luftwiderstandsgrenze, S. 19.

[2]) *A. Frank*, Ann. d. Physik, 16, S. 483 (1905); Zeitschr. d. Vereins Deutscher Ingenieure, 50, S. 593 (1906); 52, S. 1522 (1908).

d) Die Luftwiderstandskräfte am Rundlaufapparate zu studieren ist wohl die älteste Idee und hat ungezählte Anhänger gefunden. Der erste war (nach *Lanchester*) *Robins* 1761 [1]), der einen primitiven Rundlaufapparat beschrieb. In großartigem Maßstabe haben besonders *Langley* [2]) und *Maxim*, dann auch *Lilienthal* [3]) und *Mannesmann* [4]) Rundlaufversuche ausgeführt; auch das an dieser Stelle schon mehrfach erwähnte aërodynamische Institut der Pariser Universität soll eine solche Einrichtung in besonders erbauter kreisförmig angelegter Halle bekommen. Wir können hier nicht alle Experimentatoren erwähnen, die sich dieser Methode zu ihren Versuchen bedienen. Wir wollen nur die Vorzüge und Nachteile hervorheben, die beim Rundlaufapparate zu beachten sind. Sein Hauptfehler ist der sogenannte „Mitwind". Wenn die an langen horizontalen, um eine Vertikalachse drehbaren Armen befestigten Versuchskörper eine Zeitlang im Kreise umgelaufen sind, so beginnt die Luft im Versuchsraume mit immer wachsender Geschwindigkeit ebenfalls zu kreisen und die Relativgeschwindigkeit zwischen widerstehender Luft und drehendem Hebelarme nimmt ab, gemessen wird aber bloß die absolute Geschwindigkeit des Versuchskörpers und das Resultat wird auf diese Weise gefälscht. Unkontrollierbar sind auch die Veränderungen, welche durch die Zentrifugalbeschleunigung, die beim Drehen auftritt, im aërodynamischen Felde hervorgerufen werden. Auf die Fehler des Mitwindes hat schon *Recknagel* [5]) anläßlich seiner Druckversuche aufmerksam gemacht; bei *v. Loessl* [6]) findet man diese sowie auch andere Mängel eingehend diskutiert.

An dieser Stelle ist auch die von *Renard* [7]) angegebene dynamometrische Wage zu erwähnen, die durch Gewichte den Druck mißt, welcher auf zwei gleichartige, durch einen Motor an einem relativ kurzen Hebelarme rasch im Kreise herumgeführte Flächen wirkt. Hier ist die Rotationsachse im Gegensatze zu den großen Rundlaufapparaten horizontal gelegt und bildet gleichzeitig die Drehachse der die Drucke messenden Wage.

d) Die Methode des künstlichen Windes ist eigentlich die am nächsten liegende. Der zu untersuchende Körper kann an einem Meßapparat direkt befestigt und einem Luftstrom von bekannter Geschwindigkeit ausgesetzt werden. Man bestimmt dann die maßgebenden Faktoren sowohl für den Luftstrom, wie die Geschwindigkeit desselben und Dichte der Luft aus Barometerstand und Temperatur, als auch für den Körper selbst, wie Dimensionen, Umrißform, ferner die Druckkomponenten und hat so am bequemsten alle bestimmenden Größen zur Prüfung der Luftwiderstandsgesetze

---

[1]) *F. W. Lanchester*, Aërodynamik. Bd. I, S. 281. Leipzig 1909.
[2]) *S. P. Langley*, l. c.
[3]) *O. Lilienthal*, l. c. S. 57.
[4]) *O. Mannesmann*, Inaug.-Diss., Tübingen 1898.
[5]) *G. Recknagel*, l. c.
[6]) *v. Loessl*, Luftwiderstandsgesetze, S. 17 und 18.
[7]) *Ch. Renard*, Comptes rendus, 138, p. 1201, 1264 (1903).

in der Hand. Ein Gebläse erzeugt den Luftstrom, eine Führungseinrichtung sorgt dafür, daß die Geschwindigkeit desselben über den ganzen Querschnitt gleichmäßig verteilt sei und ferner die Stromlinien alle parallel verlaufen. In diesem Luftstrom hängt man nun den Körper so auf, daß, wenn sich ein stationärer Zustand eingestellt hat, alle auf das Versuchsobjekt wirkenden Kräfte in Ruhe gemessen werden können. Nur diese Methode erlaubt es eigentlich auch, das aërodynamische Feld quantitativ auszumessen. Sie hat vielleicht den Nachteil, daß sie den Versuchskörpern Beschränkung ihrer Dimensionen auferlegt, also häufig mit Modellen zu arbeiten zwingt, wo der wirkliche Körper in seinen vollen Dimensionen eben nicht zum Versuche herangezogen werden kann. Mit einem gewissen Rechte kann der Flugtechniker verlangen, die Messungen der Flächen von den Dimensionen, wie sie die Praxis eben vorschreibt, ausgeführt zu sehen (diesem Zwecke dienen die unter *a* erwähnten geradlinigen Schienenstrecken mit fahrendem Meßwagen). Mit ebensolchem Rechte aber kann sich der Theoretiker auf eine Untersuchung von *Helmholtz* stützen, welche zeigt, inwieweit nach gewissen Ähnlichkeitsgesetzen vom kleinen Modell auf das große, also hier auf die praktisch verwendeten Formen von Tragflächen usw. zu schließen ist. Wählen wir also die Dimensionen unserer Windtunnel so groß es die verfügbaren Mittel erlauben. Des Göttinger Versuchslaboratoriums mit einem Windkanale von $2 \times 2\,m$ Querschnitt ist zu Beginn unserer Abhandlung gedacht worden. Es sei hier jedoch noch folgendes hinzugefügt: Die Göttinger Anlage basiert auf der sogenannten geschlossenen Anordnung, d. h. es wird in einem ringartig geschlossenen Kanale durch einen Schraubenventilator ein Luftstrom erzeugt, der immer wieder dieselbe Bahn durchläuft. Der 30pferdige Elektromotor treibt einen *Sulzer*schen Ventilator an und erlaubt, Windgeschwindigkeiten bis zu $10\,m$ pro Sekunde zu erzielen. Sinnreich sind vor allem die in der Richtung des Luftstromes immer feiner werdenden Siebe der drei Gleichrichter erdacht und angeordnet, die den Luftstrom gleichmäßig über den Querschnitt des Meßkanales verteilen, ferner die Einrichtung, welche den Gang des Antriebsmotors vor allen Spannungsschwankungen im städtischen Netze schützt.[1]) Um die verschiedenen am Modelle angreifenden Kraftkomponenten zu ermitteln, ist ein System von Hebeln mit verstellbaren Laufgewichten außerhalb des Windtunnels im Beobachtungsraume angebracht und durch Zugdrähte mit der Aufhängung des Modells so verbunden, daß von außen alle Messungen durch Gewichtsverschiebung an Wagearmen (nach Art der römischen Wage) vorgenommen werden können. Auch Luftschrauben und andere Propellersysteme können untersucht und auf ihren Nutzeffekt hin geprüft werden.

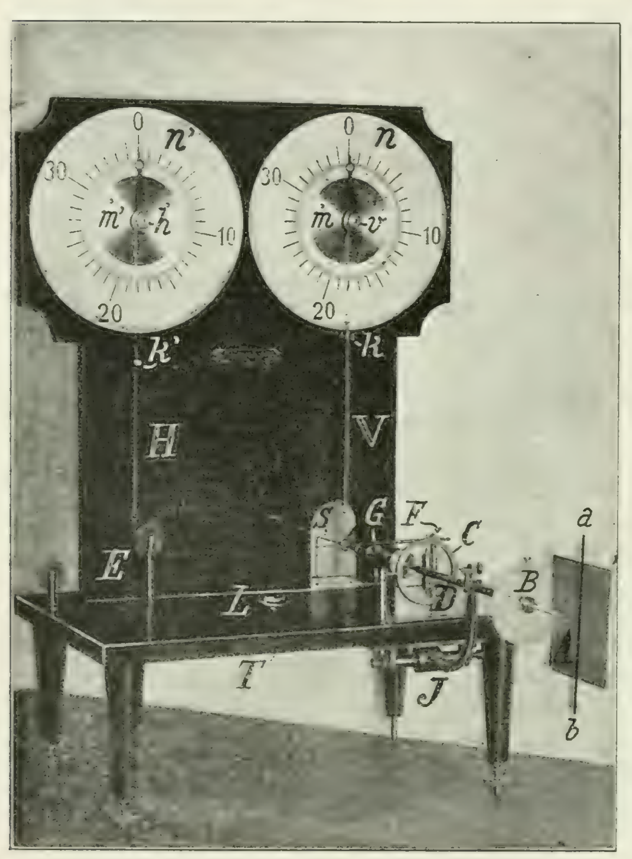
Nicht alle Forscher verfügen über die großartigen Hilfsmittel des Göttinger Institutes und so sehen wir viele Anhänger der Methode des künstlichen Windes sich mit kleineren Dimensionen begnügen. *Rateau*[2])

[1]) Vgl. die Anmerkung auf S. 66 dieser Abhandlung.

[2]) *A. Rateau*, Comptes rendus, 148, p. 1662 (1909); 149, p. 260 (1909).

verwendet einen durch den Ventilator erzeugten Luftstrom von etwa 1 *m* Durchmesser, das große Pariser Universitätsinstitut besitzt ebenfalls ähnliche Einrichtungen, die Gebrüder *Wright* haben nach diesem Verfahren Versuche angestellt, welche die Grundlage zu ihrer Lösung des Flugproblems bildeten. *Riabouchinsky* in Koutchino bei Moskau arbeitet ebenfalls mit dem künstlich erzeugten Luftstrome u. a. m.

Fig. 54.



Zu Demonstrationszwecken eignet sich lediglich diese letztbeschriebene Methode. *W. König* [1]) in Gießen hat auf der Frankfurter Luftschiffahrtsausstellung 1909 einen geistvoll erdachten Demonstrationsapparat vorgeführt, welcher verschiedene Gesetze über den Luftwiderstand namentlich von Platten in der Vorlesung experimentell zu erläutern erlaubt. *König* kompensiert durch Gewichte die Komponenten des Druckes, den eine Platte, in beliebiger Neigung zu einem vom Ventilator gelieferten Luftstrome stehend, erfährt.

Durch die *König*schen Konstruktionen angeregt, hat sich der Verfasser [2]) ebenfalls im Bau eines Demonstrationsapparates versucht, welcher in Verbindung mit der manometrischen Sonde ein aërodynamisches Instrumentarium für die Vorlesung bilden soll. Der Apparat ist in Fig. 54 wiedergegeben und stützt sich auf die Idee, die *Langley* in seinem Gesamtdruckmesser (resultant pression recorder) verwendet. Der Auftrieb (die Vertikalkomponente) und der Widerstand oder Rücktrieb (Horizontal-

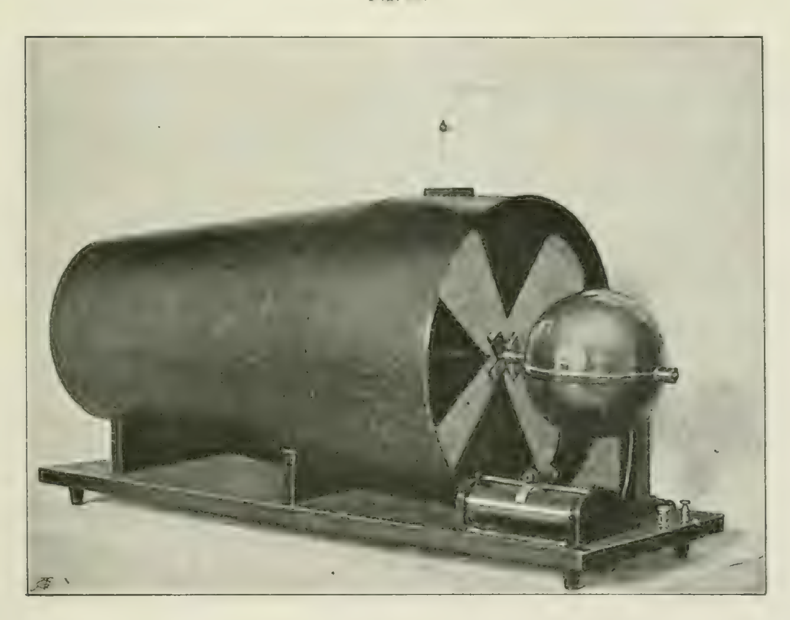
---

[1]) *W. König*, Wochenrundschau der „Ila", 1909, H. 10, S. 169.

[2]) *H. Zickendraht*, Verhandlungen der Basler Naturforschenden Gesellschaft, Bd. XXI, S. 42 (1910); ibid., Bd. XXII (1911); Ann. d. Physik, IV, 35, S. 47 (1911).

komponente des Druckes) einer unter bestimmtem Winkel zum Luftstrome geneigten Platte A wird durch zwei kalibrierte Schraubenfedern H und V kompensiert, indem durch passendes Anspannen dieser Federn (die Zugkettchen derselben wickeln sich auf genaue Zylinder h und v beim Drehen der entsprechenden Knöpfe auf) die durch den Luftstrom abgelenkte Platte wieder in die Gleichgewichtslage zurückgeführt wird. An weithin sichtbaren Skalen liest man leicht die Werte der Druckkomponenten in Grammen ab. Der Luftstrom wird durch einen elektrisch angetriebenen Ventilator mit vorgelegtem einfachen Gleichrichter und Blechkonus von 25 *cm* Durchmesser erzeugt (vgl. Fig. 55) und liefert je nach der Regulierung der Tourenzahl des Motors Windgeschwindigkeiten bis 9 *m/sec*.

Fig. 55.



c) Versuche mit Gleitflügen im großen. Ihr Erfinder ist *Lilienthal*, dem seine Schüler, die *Wrights*, Capitaine *Ferber* u. a., gefolgt sind. Sie bezwecken die maßgebenden Faktoren für den Bau von Flugzeugen zu gewinnen und würden eigentlich die für die Technik wertvollsten Angaben liefern, wäre nicht ihre Ausführung von so außerordentlich wechselnden Zufällen abhängig. *Ferber* hat es verstanden, die Zufälle so viel wie möglich auszuschalten, kinematographisch und photographisch hat er die Bahn seiner freifliegenden Gleitflugzeuge festgehalten und mit den Daten verglichen, die ihm die Theorie gab. So hat er auch die spezifischen Widerstände seiner Apparate ermittelt, so hat er nach der günstigsten Flächenkrümmung gesucht, bis ein bedauerlicher Unfall seinem Leben und seiner

Arbeit ein allzu frühes Ende bereitete. Auch darin ist er seinem Lehrmeister *Otto Lilienthal* gefolgt.

Lanchester [1]) hat systematische Versuche mit kleinen Gleitfliegermodellen in geschlossenen Räumen, also bei ruhender Luft ausgeführt und daraus die spezifischen Widerstände bestimmter Flächenformen unter gegebenen Neigungswinkeln hergeleitet.

Schließlich sollen auch die schönen Versuche von *Bendemann* [2]) nicht unerwähnt bleiben, die manchen Aufschluß und beherzigenswerte Anregung zu weiteren Arbeiten an Orten, wo ein Gleitflugapparat zu Gebote steht, geben können.

15. Welches nun auch die Versuchsmethode sein wird, deren wir uns bedienen, wir werden im Falle unserer Aufgabe, den Luftwiderstand einer ebenen, senkrecht getroffenen Platte gemäß der Gleichung (4)

$$P = \zeta_w \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F\, v^2$$

zu ermitteln, folgende maßgebende Faktoren zu bestimmen haben: Das spezifische Gewicht der Luft γ also, wenn wir hier das technische Maßsystem Meter-Kilogrammgewicht-Sekunden anwenden wollen, das Gewicht eines Kubikmeters Luft beim eben herrschenden Barometerstande unter der Temperatur des Versuchsraumes. Bei normalem Barometerstande von 760 *mm* = 0·76 *m* und 0° Temperatur wird $\gamma = 1{\cdot}293$ *kg* werden. g ist die Beschleunigung der Schwerkraft 9·81 *m/sec*² (in einer Breite von 45° am Meeresspiegel), somit der Faktor $\frac{\gamma}{g}$ = der Masse eines Kubikmeters Luft unter den angegebenen Bedingungen. F stellt die Oberfläche der Platte in Quadratmetern und v die Luftgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde dar. Auf die Messung dieser Größe müssen wir noch speziell eintreten, da sie auf verschiedene Weise ausgeführt werden kann. ζ_w endlich stellt den Faktor dar, welcher den Druck der Luft auf eine bestimmte Oberfläche von 1 *m*² bei einer Luftgeschwindigkeit von 1 *m sec* bei 0° und 760 *mm* Druck darstellt. Wir haben ζ_w bereits den spezifischen Luftwiderstand einer bestimmten Flächenform genannt und erkennen, daß sich ζ_w mathematisch als Funktion der Umrißform und Oberflächenreibung der Fläche, möglicherweise aber auch der Flächengröße darstellen wird. So hat z. B. *Dines* [3]) auf den Einfluß der Umrißform aufmerksam gemacht und nachweisen können, daß ζ_w für Platten von einfachem ungegliederten Umrisse -wie Kreise und Quadrate am kleinsten wird. *Eiffel* [4]) erkennt eine ähnliche Abhängigkeit vom Plattenumrisse, ebenso *Frank* [5]), und wir sind über diese Ergebnisse auch nicht weiter verwundert, ist es

---

[1]) *F. W. Lanchester,* Aërodynamik, Bd. II, Aërodonetik. B. G. Teubner, 1911.

[2]) *F. Bendemann,* loc. cit.

[3]) *F. W. Lanchester,* Aërodynamik, 1, S. 157.

[4]) *G. Eiffel,* Compt. rend., 137, p. 30 (1903).

[5]) *A. Frank,* loc. cit.

doch einleuchtend, daß das aërodynamische Feld einer Kreisplatte anders beschaffen sein wird, wie dasjenige eines Dreieckes oder Rechteckes mit sehr verschiedenen Seitenverhältnissen. Die Größe ζ_w enthält eben die Druckverhältnisse unmittelbar vor und hinter der Platte, diese (besonders diejenigen auf der Leeseite) sind aber durch die Druckverteilung im aërodynamischen Felde bedingt und es wäre mathematisch sehr interessant zu versuchen, für ζ_w auf Grund der Kenntnis der Strömungsverhältnisse eine Funktion herzuleiten.

16. Bevor wir näher auf das Zahlenmaterial, dessen Werte sich oft recht weit voneinander entfernen, eintreten, sollen die Methoden besprochen werden, nach welchen man die Geschwindigkeit des Luftstromes bestimmt. Am bekanntesten ist das Schalenkreuzanemometer von *Robinson*, dem wir auf allen meteorologischen Stationen begegnen. Es ist nicht schwer einzusehen, daß der Druck auf eine hohle Halbkugel größer ist, wenn die Luft auf die hohle (konkave) Seite der Schale auftrifft, als wenn die Konvexseite angeblasen wird. Ein Schalenkreuz, um eine vertikale Achse beweglich angeordnet, wird also durch einen horizontalen Luftstrom in drehende Bewegung versetzt werden, von wo auch der Strom herkommen möge. Mit der Achse des Kreuzes wird ein Umdrehungszähler verbunden, welcher direkt den Weg der Schalenmitten in Metern angibt. Mit dem Chronometer läßt sich nun der sekundliche Luftweg und somit unter Anbringung einer geeigneten Korrektion wegen „Schlüpfung" die wahre Windgeschwindigkeit ermitteln. Die Korrektion ist deswegen notwendig, weil meist bei kleinen Luftgeschwindigkeiten das Schalenkreuz in seiner Drehung etwas zurückbleibt, bei hohen Geschwindigkeiten aber der Windgeschwindigkeit sogar etwas voreilt. Die Eichung geschieht meist am Rundlaufapparate und hat wie jener unter den Mängeln wie „Mitwind" und dergleichen zu leiden. Da die großen Anemometer, wie sie die Meteorologie im allgemeinen verwendet, für unseren Zweck zu unhandlich und hauptsächlich zu träge sind, hat schon *Langley*[1]) leichter bewegliche Formen konstruiert und verwendet. Bei seinen Untersuchungen über die innere Unruhe des Windes, wo es ihm darum zu tun war, die außerordentlich raschen Schwankungen zu registrieren, die die Windgeschwindigkeit immer aufweist, bediente er sich leichter Anemometer, deren kreisende Schalen aus Papiermaché gefertigt waren und nur eine geringe Trägheit besaßen. Noch vorteilhafter sind wohl die von der Firma *Fuess* konstruierten kleinen Schalenkreuzanemometer, von denen eines in Fig. 56 dargestellt ist und die mit Eichtabelle versehen geliefert werden.

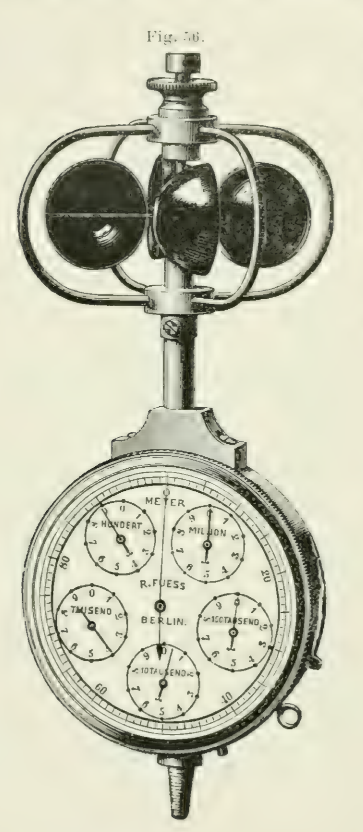
Es gibt aber noch eine andere Methode, Windgeschwindigkeiten zu messen, die manche Vorzüge vor der oben erwähnten besitzt, wenngleich ihr Grundprinzip nicht ganz so einfach ist wie die Idee des Schalenkreuzes. Von der Messung der Geschwindigkeit fließenden Wassers geht der Gedanke aus: Stellt man nämlich einem Flüssigkeitsstrome die eine Mündung

---

[1]) *S. P. Langley*, loc. cit.

eines rechtwinklig gebogenen Röhrchens in der Weise entgegen, wie es Fig. 57 veranschaulicht, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre über das Niveau des Stromes heraus, und zwar um so höher, je größer die Geschwindigkeit der Strömung ist. Es üben die gegen die Mündung A fließenden Flüssigkeitsteilchen infolge ihrer Geschwindigkeit auf den Inhalt der Röhre (die in ruhendem Wasser eben bis zum Niveau N gefüllt wäre) einen Druck aus, der zu der Stromgeschwindigkeit in einer einfachen Beziehung steht. Strömt etwa die Flüssigkeit an der Stelle A mit der Geschwindigkeit v, so können wir uns diese Geschwindigkeit dadurch entstanden denken, daß ein Flüssigkeitsteilchen aus einer bestimmten Höhe h bis an die Stelle A gefallen wäre und auf diesem Wege h eben die Geschwindigkeit v erlangt hätte.

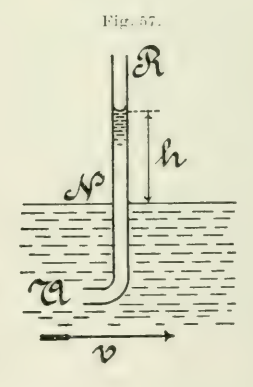
Fig. 56.



Die Endgeschwindigkeit nach dem Durchfallen der Strecke h ist aber bekanntlich:

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{woraus} \quad h = \frac{v^2}{2g}.$$

Fig. 57.



Auf diese Höhe h, die man als **Geschwindigkeitshöhe** bezeichnet, muß also, wenn kein Verlust eintritt, nach dem Energieprinzipe die Flüssigkeit in der Röhre steigen und es kann so mittelst der *Pitot*schen **Röhre**, wie das Instrument nach seinem Erfinder benannt worden ist, die Geschwindigkeit der Strömung gemessen werden.

Der Druck der Strömung, bedingt durch die kinetische Energie $\frac{m}{2} v^2$, der Flüssigkeit, also hier $\frac{1}{2g} v^2 = \frac{1}{2g} 2gh = h$ für Wasser vom spezifischen Gewichte 1 oder $\gamma \cdot h$ für eine Flüssigkeit vom spezifischen Gewichte γ wird

kompensiert durch den Druck der Flüssigkeitssäule im *Pitot*schen Rohre, der eben $\gamma . h$ Gewichtseinheiten beträgt.

Recknagel[1]) hat als erster die Prüfung dieser Gesetzmäßigkeit auf experimentellem Wege unternommen und gezeigt, daß, wenn man einen Luftstrom von der Geschwindigkeit v gegen eine kleine in der Mitte durchbohrte Platte, eine sogenannte Stauscheibe, richtet und die Öffnung mit einem Manometer verbindet, der so entstehende Druck in Millimetern Wassersäule ein Maß für die Luftgeschwindigkeit geben könne gemäß der Gleichung:

$$v = \sqrt{\frac{2 g . h}{\gamma}} \qquad (5),$$

wobei $g = 9{\cdot}81 \frac{M}{Sek^2}$, h die „Geschwindigkeitshöhe" in Metern Wassersäule und γ die Dichte der Luft (bezogen auf Wasser), also das Verhältnis 0·001293 bei 0° und 760 *mm* Druck bedeuten.

Messen wir also eine Geschwindigkeitshöhe von 1 *mm* = 0·001 *m* Wassersäule, so entspricht dieser Größe eine Windgeschwindigkeit von 3·90 *m/sec* bei 0° und 760 *mm* Druck. *Krell*[2]) hat eine sehr bequeme Tabelle für die Beziehung zwischen Geschwindigkeit des Luftstromes und Geschwindigkeitshöhe gegeben, außerdem durch sehr schöne und sorgfältige Versuche die wirkliche Berechtigung der Gleichung (5) erwiesen.

Wir wissen, daß, wenn auf der Vorderseite einer Stauscheibe Überdruck entsteht, auf der Rückseite ein Unterdruck herrschen muß, und zwar läßt sich, wie *Recknagel* nachweisen konnte, der Unterdruck p' auf der Rückseite der Stauscheibe aus dem Überdrucke p auf der Vorderseite berechnen gemäß der einfachen Beziehung

$$p' = -0{\cdot}37 . p.$$

Der Gesamtdruck auf die Mitte der Stauscheibe ist dann

$$P = p - p' = 1{\cdot}37 . p.$$

Kombiniert man also zwei Stauscheiben derart, wie es *Krell* sen. bei seinem „Pneumometer" genannten Geschwindigkeitsmesser getan hat, so daß eine Stauscheibe gegen den Wind, die andere vom Luftstrome abgekehrt gerichtet ist (vgl. Fig. 58, S. 80) und verbindet die Mittelbohrungen der Kapseln in der angegebenen Weise mit einem Mikromanometer M, so erhält man ein Meßwerkzeug für Geschwindigkeitsbestimmungen, dessen Angaben 1·37mal größer sind als die einer einfachen Stauscheibe, man gewinnt also an Empfindlichkeit, und umgeht die sonst notwendige Drehung der *Recknagel*schen Scheibe.

Der Doppelstauscheibe von *Krell* sind von *Prandtl* und *Rietschel* bequemere Formen gegeben worden. Insbesondere eignet sich die *Prandtl*sche Scheibe gut zu Messungen in staubführenden Luftströmen, wie sie bei Ventilations- und Entstaubungsanlagen vorkommen.

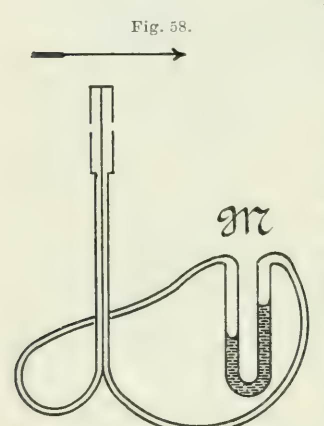
---

[1]) *G. Recknagel*, loc. cit.

[2]) *O. Krell* jun., loc. cit.

Wenn wir in der Aërodynamik schon jetzt von einem strengen Gesetze sprechen können, so wird dieser Ausdruck wohl am ehesten auf das *Newton*sche Quadratgesetz anwendbar sein. Innerhalb der weitesten Grenzen hat sich seine Gültigkeit erwiesen, wenn wir etwa von extrem langsamen Bewegungen absehen. Nach *Schellbach* soll das Gesetz zwischen v = 0·2 und v = 6 *m/sec* richtig sein, *v. Loessl* fand es bis 12 *m/sec*, *Langley* bis 30 *m/sec* und *Cranz* aus ballistischen Versuchen bis 240 *m/sec* bestätigt, wie *Finsterwalder* [1]) in seiner zusammenstellenden Arbeit über Aërodynamik angibt. Einen sehr hübschen Beweis lieferte übrigens *Dines*, indem er an einem eigenartigen Rundlaufapparate einen Gleichgewichtszustand zwischen Luftwiderstand und Zentrifugalkraft aufrechterhalten konnte. Da die Zentrifugalkraft mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst, so läßt sie sich, gelingt es mit ihrer Hilfe den Luftwiderstand zu kompensieren, als Beweis des *Newton*schen Quadratgesetzes gebrauchen. Dieser Versuch ist nun *Dines* in der Tat gelungen.

Fig. 58.



17. Wir gehen nun über zu der näheren Betrachtung des spezifischen Luftwiderstandes einer Fläche, also zu der Größe ζ_w, die (das sei hier hervorgehoben) sich auf einen zur Fläche senkrecht gerichteten Luftwiderstand bezieht. Dieser spezifische Luftwiderstand wird zuweilen auch so dargestellt, daß man die Gleichung (4) einfach schreibt:

$$P = k \,.\, F \,.\, v^2,$$

wobei dann

$$k = \zeta_w \,.\, \frac{\gamma}{g} \text{ und } \zeta_w = \frac{k \,.\, g}{\gamma}$$

und noch von der Dichte der Luft abhängig ist. k gibt dann je nach dem verwendeten Maßsysteme den Druck an, welcher durch den Luftstrom von der Geschwindigkeit 1 auf die Flächeneinheit ausgeübt wird. ζ_w ist vom Barometer- und Thermometerstand unabhängig und, wie man sieht, $\frac{g}{\gamma}$ (also etwa 7·6mal) größer als k. Die Angaben über k und mithin über ζ_w in der Literatur schwanken nun ganz außerordentlich. Es sind eben beide Größen keine Konstanten, wie wir bereits früher gesehen haben, da sie von den äußerst wechselvollen aërodynamischen Feldern der betreffenden Platten abhängen. *Finsterwalder* hat eine vorzügliche Zusammenstellung der Resultate verschiedener Forscher gegeben. Wir wissen bereits, daß nach *v. Loessl* $\zeta_w = 1$ und damit k = 0·13 (bei 0° und 760 *mm*) werden sollte, haben aber auch gesehen, daß dieser Wert zu groß ist. Dies erkennt *v. Loessl* auch bei allen seinen Versuchen; immer erweist sich der beob-

[1]) *S. Finsterwalder,* Aërodynamik. Enzyklop. d. math. Wiss., Bd. IV, 2, S. 161.

achtete Luftwiderstand kleiner wie der nach Gleichung (4) berechnete und er sieht sich genötigt, je nach dem Umriß der Fläche verschiedene Faktoren ζ_w einzuführen, um die Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment aufrecht zu erhalten. So findet *v. Loessl*[1]):

für einen Kreis . . . . $\zeta_w = 0·83$
„ ein Quadrat . . . . $= 0·86$
„ „ Rechteck mit Seitenverhältnis $1 : 2 = 0·92$
„ „ „ „ „ $1 : 4 = 0·94$

Es ergab sich das interessante von *Dines* bestätigte Resultat, daß der Koeffizient ζ_w für einfach gegliederte Umrisse am kleinsten wird, während „je weiter die Figur kompliziert wird und von einer reinen Kreisscheibe oder einem vielseitigen Polygon abweicht, desto vollständiger der maximale oder normale Widerstandsdruck zustande kommt, und daß der Druck auf eine Kreisscheibe mit 0·83 . F als erreichbares Minimum zu betrachten ist.[2]) Hierin scheint *v. Loessl* sich nun wenigstens quantitativ geirrt zu haben. So gibt *Frank* als Versuchsresultate folgende Größen an:

für einen Kreis von $0·01 \overline{m}^2$ $\zeta_w = 0·553$
für ein Quadrat von $0·01 \overline{m}^2$ $\zeta_w = 0·582$

jedenfalls für den Kreis weniger wie für das gleichgroße Quadrat.

Verfasser fand für ein Quadrat von $0·01 \overline{m}^2$ $\zeta_w = 0·569$. Der auf S. 67 abgeleitete Wert $\zeta_w = 0·47$ für den Kreis ist offenbar zu klein infolge der Versuchsfehler, gibt jedoch die Größenordnung der Werte von ζ_w wieder.

Es scheint auch, als ob ζ_w nicht nur von der Umrißform der Fläche, sondern auch von ihrer Größe abhänge; es ist offenbar nicht gleichgültig, ob wir uns zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes einer großen oder kleinen Fläche bedienen. Nach *Eiffel*[2]) soll ζ_w mit der Flächengröße wachsen. Eine vergleichende Bestimmung, einmal mit sehr großen, das andere Mal mit kleinen Flächen ausgeführt, wäre von großem Nutzen. Bei sehr kleinen Flächen scheinen ziemlich beträchtliche Unterschiede aufzutreten, die wohl in der Veränderung des aërodynamischen Feldes hauptsächlich auf der Leeseite ihre Ursache haben dürften. Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände sind wir gezwungen einzugestehen, daß eine abschließende Beurteilung der Frage nach dem spezifischen Luftwiderstande, wenn wir überhaupt an einer solchen Größe noch festhalten wollen, noch nicht möglich ist, wir werden wohl nicht sehr fehlgehen, wenn wir für die Größe ζ_w den mittleren Wert

$$\zeta_w = 0·6$$

einsetzen. In Fällen spezieller Flächenformen und -größen wird eine jeweilige genaue Bestimmung von ζ_w notwendig sein.

Eine wichtige Folgerung ist jetzt schon aus dem oben Gesagten zu ziehen, daß es nämlich nicht möglich ist, den Luftwiderstand einer be-

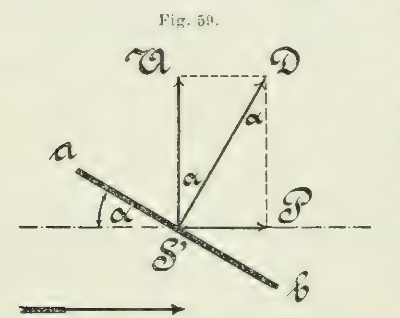
[1]) *v. Loessl*, Luftwiderstandsgrenze, S. 81.
[2]) *G. Eiffel*, Compt. rend., 137, p. 30 (1903).

liebig gestalteten ebenen Fläche in derselben einfachen Art und Weise zu berechnen, wie das mit dem Inhalt der Oberfläche selbst geschehen kann. Es ist unrichtig, die beliebige Fläche in kleine Elemente zu zerteilen, um aus dem Druck auf das einzelne Element, auf den Gesamtdruck zu schließen, indem man für den Druck auf ein kleines Flächenelement ein Gesetz von der Form

$$P = \zeta_w \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F v^2$$

zugrunde legt, denn je nach der Umgebung, in welcher sich das betreffende Flächenelement befindet, wird auch sein ζ_w ein anderes sein. Für Elemente am Flächenrande offenbar kleiner wie für solche, die mehr nach der Flächenmitte zu gelegen sind. Diese Umstände erschweren die Aufstellung einer allgemeinen Theorie des Luftwiderstandes aber außerordentlich, so daß wir immer noch auf Annäherungen angewiesen sind.

Fig. 59.



18. Die ebene Platte, geneigt zum Luftstrome, bietet in ihrer experimentellen wie theoretischen Behandlung ungleich mehr Schwierigkeiten wie die senkrecht getroffene Platte. War es schon im einfachen Falle der senkrechten Platte schwierig, einen genauen empirischen Ausdruck für den Luftwiderstand P zu erhalten, so ist das Hindernis, welches die geneigte Platte in dieser Beziehung bietet, überhaupt noch nicht überwunden, obgleich es nicht an zahlreichen Bearbeitungen dieses Themas gefehlt hat.

Ohne auf die Irrtümer früherer experimenteller Studien über diese Fragen einzutreten, halten wir uns an die Resultate von *Dines* [1], die durch *Prandtl* in vollem Umfange bestätigt und erweitert worden sind.

In Fig. 59 denken wir uns einen von links her kommenden Luftstrom unter dem sogenannten Luftstoßwinkel α die Fläche a b treffen. Infolge des Überdruckes auf der Luv-, des Unterdruckes auf der Leeseite entsteht der senkrecht auf die Fläche a b wirkende Druck D, den wir nach dem bekannten Parallelogrammsatze in die beiden Komponenten A und P zerlegen. Die Kraftkomponente A, die wir Auftrieb nennen wollen, bewirkt für sich allein ein Heben der Fläche a b, während die Komponente P die Fläche in der Windrichtung zurücktreibt und als Widerstand oder auch Rücktrieb bezeichnet wird. Der Angriffspunkt S' der Kraft D wird als Druckmittelpunkt Anlaß zu interessanten Überlegungen geben. Für den Luftstoßwinkel 90° fällt er mit dem Schwerpunkt im allgemeinen der Flächenmitte symmetrisch gebauter Flächen zusammen. Denken wir uns

---

[1]) *Dines*, Proc. of the Roy. Soc., London 1890, p. 233.

nun die Kräfte A und P nach Gleichung (4) dargestellt, so erhalten wir für den

$$\text{Auftrieb } A = \zeta_A \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2$$

sowie den

$$\text{Widerstand } P = \zeta_w \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2,$$

es muß dann der Gesamtdruck sich berechnen lassen aus

$$D = \sqrt{A^2 + P^2} = \sqrt{\zeta_A^2 + \zeta_w^2} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot v^2 = \zeta \cdot \frac{\gamma}{g} F v^2 \quad (6),$$

wenn wir mit ζ den Ausdruck

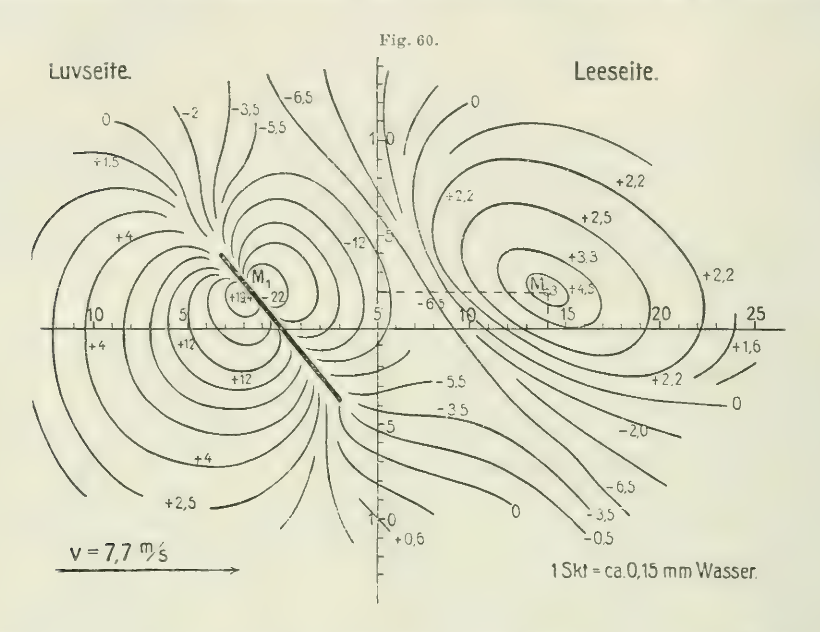
$$\zeta = \sqrt{\zeta_A^2 + \zeta_w^2} \quad (6^a)$$

bezeichnen.

19. Bevor wir an die Ermittlung dieser Größen gehen, muß das aërodynamische Feld der geneigten Platte betrachtet werden, wie es in Fig. 60 für den Fall eines Quadrates von 0·01 m^2 Oberfläche unter dem Luftstoßwinkel von 45° dargestellt ist. Auf der Luvseite bemerkt man eine Verschiebung der Isobare maximalen Druckes nach der Vorderkante hin. Dies ist die unmittelbare Folge der sogenannten *Avanzinischen* Erscheinung, der Verschiebung des Druckmittelpunktes bei Plattenneigung nach der Vorderkante hin. Auf der Leeseite gehen tiefgreifende Veränderungen vor, deren Umfang sich erst ganz beurteilen läßt, wenn man, wie *Ahlborn* es bei Wasser getan hat, das Feld für möglichst viele Neigungswinkel der Platte zwischen 0° und 90° aufnimmt. Sicherlich werden sich dieselben Bedingungen auch bei Luft ergeben, die der Hydrodynamiker für Wasser gefunden hat; zur Beurteilung der aërodynamischen Verhältnisse ist jedoch eine Serie von Versuchen notwendig, deren Ausführung bis jetzt noch aussteht. Bei der Platte unter dem Luftstoßwinkel 45°, dessen Feld in Fig. 60 wiedergegeben ist, fällt uns das Verschwinden des Minimums M_2 auf, was nichts anderes besagt, als daß der Wirbelring M_1 M_2 hinter der Platte eine starke Veränderung, eine Sprengung erlitten hat, der obere Teil M_1 besteht noch, dicht an die Platte gedrängt, fort, während die Aufnahme in Fig. 60 über die Form des Wirbelringes weiter nichts aussagen kann, da sie ja nur einen Durchschnitt darstellt. Schließen wir aus den *Ahlborn*schen Untersuchungen auf die Verhältnisse bei Luft, so müssen wir annehmen, daß der Wirbelring, der hinter der senkrechten Platte die Gestalt eines Kreises oder einer Ellipse hatte (vgl. Fig. 61 A), nunmehr von einer bestimmten Plattenneigung an unten ausreißt, sich eigenartig deformiert (vgl. Fig. 61 B) und das Bild des aërodynamischen Feldes hinter der Platte tiefgreifend verändert. Diejenige Plattenneigung resp. der Luftstoßwinkel, bei dem das Sprengen des Wirbelringes sich geltend macht, wird aber bei der Messung des Luftwiderstandes durch irgend eine Eigentümlichkeit ausgezeichnet sein. Dies ist nun auch in der Tat der Fall. Das Maximum M_3 gewinnt mit abnehmendem Luftstoßwinkel an

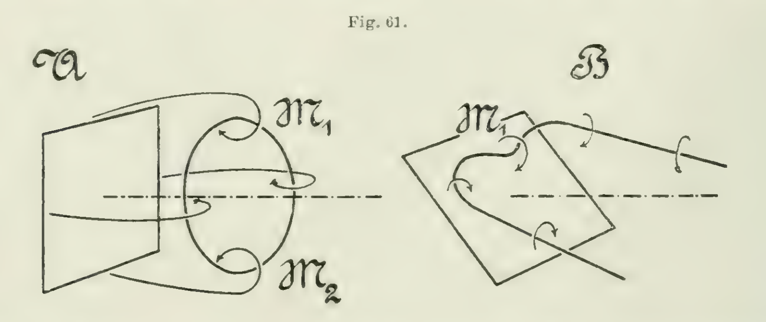
Intensität und tritt auch etwas aus der Achse heraus, wir sehen es im betrachteten Falle den Wert von + 0·675 *mm* Wasser annehmen. Das Diagramm in Fig. 62 veranschaulicht den Druckverlauf in der Plattenachse bei verschiedenen Luftstoßwinkeln α. Mit abnehmendem α rückt M_1 mehr und

Fig. 60.



mehr an die Platte heran, im gleichen Sinne bewegt sich das Maximum M_3. Ferner ist die Unstetigkeit des Vorganges aus der scheinbar unmotivierten Verschiedenheit zwischen den Kurven für $\alpha = 40^0$ und $\alpha = 20^0$ zu erkennen. Hier ist offenbar die Sprengung des Wirbelringes eingetreten und hat das Feld auf der Leeseite total verändert. Es wäre sehr lohnend,

Fig. 61.



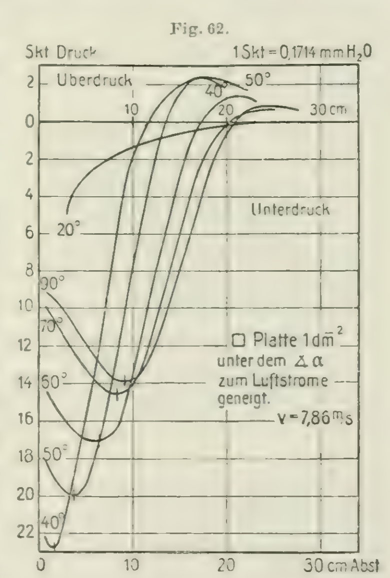
gerade die kritische Gegend um den Luftstoßwinkel 40^0 herum eingehender bezüglich des Feldes zu studieren. Wie die Gesamtwiderstandsveränderungen vor sich gehen, kennen wir aus den Arbeiten verschiedener Forscher. *Dines* war wohl der erste, der die Funktion f (α), die

den Zusammenhang zwischen dem Drucke auf die geeignete Platte und dem Drucke auf die senkrechte Platte liefert, durch das Experiment richtig zu bestimmen vermocht hat. Wir müssen ja versuchen, den Druck D_α auf die geeignete Platte aus dem Drucke D_{90} auf die senkrecht gestellte Platte berechnen zu können, indem wir D mit einer bestimmten Funktion f (α) multiplizieren, also etwa

$$D_\alpha = D_{90} \, f(\alpha).$$

Wird uns aber schon die theoretische Darstellung von D_{90} schwer, so möchten die Hindernisse, die sich bei der mathematischen Darstellung von f (α) vor dem Forscher auftürmen, unübersteiglich werden. Wir sind also vorderhand auf das Experiment angewiesen. Und dieses zeigt nun, je genauer wir es ausführen, um so deutlicher, daß die Gegend von 40° Neigungswinkel Unstetigkeiten enthält. Schon *Dines* erhielt für $\alpha = 35°$ bei einer quadratischen, mit 20·6 *m/sec* Geschwindigkeit am Rundlaufapparat bewegten Scheibe (30·5 × 30·5 *cm*) einen auffallenden Höcker der Kurve $f(\alpha) = \frac{D_\alpha}{D_{90}}$. Bei 34° wurde D_α über 1·2 mal größer wie D_{90}.

Fig. 62.



Als der Verfasser (damals ohne Kenntnis dieser Umstände) mit dem Luftwiderstandsapparat Fig. 54 die Funktion f (α) studierte, erhielt er ebenfalls dieses scheinbar unnatürliche Wachsen des Gesamtwiderstandes einer geneigten Platte über den Widerstand der senkrechten und war geneigt, das abweichende Verhalten auf Fehler am Apparat oder in den Messungen zurückzuführen. Derselbe begreifliche Irrtum ist *Schüle*[1]) begegnet, wir sind aber, besonders nach den wertvollen neueren Untersuchungen von *Eiffel*[2]) und *Prandtl*[3]), vollkommen von der Richtigkeit der Tatsache überzeugt, daß der Gesamtdruck auf eine ebene Platte von bestimmter Neigung zu einem Luftstrome bei Luftstoßwinkeln in der Gegend von 40° größer wird, wie der Druck auf dieselbe Platte bei senkrechtem Auftreffen, daß ferner bei diesen kritischen Winkeln Unstetigkeiten in den Werten der Druckkräfte auftreten, die durch den Umstand der Sprengung des Wirbelringes hinter der Platte bedingt sind. In Fig. 63 geben wir den Verlauf der Konstanten ζ mit variablem

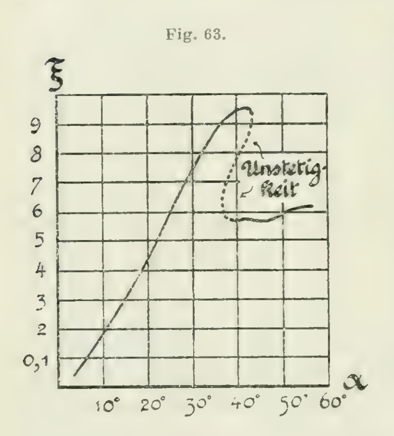
[1]) *Schüle*, Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing. Bd. 54, S. 14 (Fig. 11).

[2]) *G. Eiffel*, Comptes rendus. 151, p. 979 (1910).

[3]) *L. Prandtl*, vgl. z. B. die Zusammenstellung in *A. Vorreiters* Jahrbuch der Luftschiffahrt. J. F. Lehmann, München 1911, S. 312 ff., oder die Arbeit von *O. Föppl* im Jahrbuche der Motorluftschiffs-Studiengesellschaft. Bd. IV. p. 51 (1910/11). (Springer.)

Luftstoßwinkel α wieder, wie er im Göttinger aërodynamischen Laboratorium ermittelt wurde.[1]) Wir bemerken die Unstetigkeit nach Überschreiten des Winkels $\alpha = 40^0$, die sich, wie wir gleich sehen werden, auch noch in anderer Beziehung bemerkbar macht. Diese Unstetigkeit ist es aber, welche eine mathematische Herleitung der Funktion f (α) oder wenn man will, der Größe ξ sehr erschwert. Unzählige empirische Formeln sind bereits angegeben worden. *Bendemann* stellt sie in seiner mehrfach zitierten Abhandlung graphisch und analytisch zusammen. Von vornherein sind alle diejenigen auszuscheiden, die dem oben wiedergegebenen Satze nicht genügen, bei denen also f $(\alpha) = \frac{D_\alpha}{D_{90}}$ nicht größer wie 1 werden kann. So fallen das *Newton*sche Sinusquadratgesetz, das *v. Loessl*sche Sinusgesetz und alle ähnlichen Funktionen außer Betracht. Der Kampf um die richtige Bewertung der Funktion f (α) ist aber deswegen recht interessant, weil er uns die Schwierigkeiten aërodynamischer Messungen so recht deutlich vor Augen führt. Den großen Bemühungen *Langleys* ist es trotz der Hilfsmittel, die ihm zu Gebote standen, nicht gelungen, über eine Genauigkeit von 10% herauszukommen, seine Bestätigung der *Duchemin*schen Widerstandsformel, die mit f (α) ebenfalls unter dem Werte 1 bleibt, kann also keine Gewißheit liefern.

Fig. 63.



20. Für die Aviatik von außerordentlicher Wichtigkeit ist die Untersuchung des Druckmittelpunktes und seiner Wanderung bei Neigung der Platte. Mit dieser nach *Avanzini* benannten Erscheinung müssen wir uns an der Hand der Untersuchungen von *Rateau*[2]), *Prandtl* und anderen noch kurz beschäftigen.

Denken wir uns eine ebene, etwa quadratische Platte senkrecht zu einem Luftstrome aufgestellt und nun ihre Neigung mehr und mehr verkleinert, so daß der Luftstoßwinkel von 90^0 stetig abnimmt, dann sehen wir, wie z. B. *Rateau* gezeigt hat, mit kleiner werdendem Winkel α den anfänglich im Zentrum der Platte befindlichen Druckmittelpunkt[3]) nach der Vorderkante hin wandern. Diese Wanderung geschieht, wie aus Fig. 64 ersichtlich, nahezu linear bis zum Neigungswinkel 40^0. Hier ist eine kritische Stelle zu beobachten, indem daselbst der Druckmittelpunkt unregelmäßigen

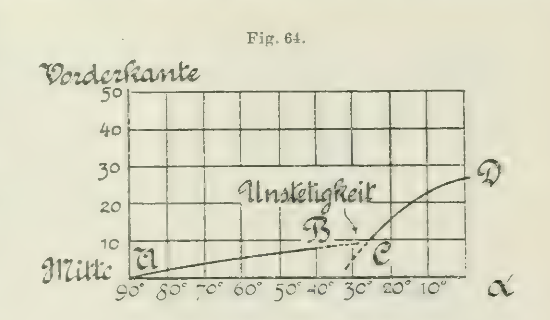
[1]) Es sei noch hervorgehoben, daß es sich in Fig. 63 um die spezifische Luftdruckresultante ξ und nicht um die Funktion f (α) handelt!

[2]) *A. Rateau,* Comptes rendus. 148, p. 1662 (1909).

[3]) Unter dem Druckmittelpunkt verstehen wir den Angriffspunkt der Resultante aller parallelen Kräfte, die infolge des Luftstromes auf die Platte wirken. Er fällt bei senkrechter quadratischer Platte mit ihrem Schwerpunkte zusammen.

Schwankungen unterworfen ist. Er kann einerseits dem Kurventeile AB, andrerseits dem Kurvenstücke CD entsprechende Lagen annehmen. Nach den Veränderungen zu urteilen, die wir bei der Betrachtung des aërodynamischen Feldes der geneigten Platte in dieser kritischen Gegend von 40° Neigungswinkel kennen gelernt haben, setzt uns die Unstetigkeit an dieser Stelle nicht mehr in Erstaunen. Es bereitet sich eben ein zweiter Gleichgewichtszustand vor mit anderen Druckeigenschaften und mit einem anderen Verlauf der Funktion, die uns den Ort des Druckmittelpunktes für Neigungen unter 40° liefert. Die rasch ansteigende Kurve CD lehrt, daß zwischen 30° und 0° der Druckmittelpunkt bis in das erste Viertel der Plattenbreite (von der dem Winde zugekehrten Vorderkante aus gerechnet) hineinrückt. Für die Aviatik käme bei allen den Flächen, die nicht gekrümmt sind, also etwa für die Seitensteuer, meist nur das Kurvenstück CD für kleine Luftstoßwinkel in Betracht. Bei der Behandlung gekrümmter Flächen werden wir übrigens andere Verschiebungsgesetze kennen lernen. Es sei noch erwähnt, daß schon *Langley* wie auch in neuerer Zeit *Eiffel* und *Prandtl* ähnliche Angaben über die *Avanzinische* Erscheinung für bewegte Luft gemacht haben, am deutlichsten sind aber doch die *Rateau*schen Resultate.[1])

Fig. 64.

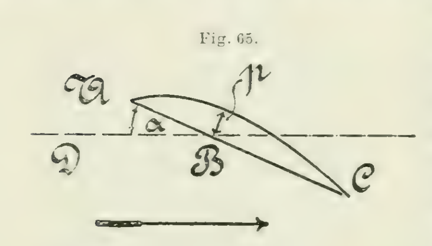


21. Sehr interessant sind auch die Untersuchungen, welche einen Vergleich zwischen Auftrieb A und Luftwiderstand P (Rücktrieb) einer ebenen Platte bei verschiedenen Luftstoßwinkeln erstreben. Es ist längst bekannt, daß eine lange und schmale Platte, mit ihrer langen Kante vorangeführt, weit größere Auftriebskräfte erzielt, wie wenn wir sie der Länge nach in den Luftstrom stellen. Es hieße ein Grundprinzip der Aërodynamik verletzen, wollten wir einen schmalen Aëroplan mit längs gestellten Tragflächen zu bauen versuchen. Bei gewissen kleinen Neigungswinkeln wird das Verhältnis Auftrieb zu schädlichem Widerstand, also $\frac{A}{P}$ ein Maximum, eine Tatsache, der wir an dieser Stelle noch eingehendere Beachtung schenken würden, wenn der Aëroplan mit ebenen Tragflächen gebaut würde. Aber wir haben nun einmal nach den hervorragenden grundlegenden Versuchen von *O. Lilienthal* die bedeutende Überlegenheit passend gekrümmter Tragflächen vor den ebenen erkannt und werden uns zu ihrer Besprechung wenden müssen.

[1]) Nach *Voisin* scheint die Lage des Druckmittelpunktes auch von der Luftstromgeschwindigkeit abzuhängen.

22. Die gekrümmte Platte. Um unsere Betrachtung nicht allzusehr zu komplizieren, sei eine nach einer Parabel oder einem Kreisbogen gekrümmte Platte angenommen (Fig. 65) und ihre Wölbungssehne AC zur Bestimmung des Luftstoßwinkels $ABD = \alpha$ sowie ihr Wölbungspfeil p zur Ermittlung ihrer Wölbung festgelegt. Der Luftstrom komme in unserer Figur von links her und wir werden einen solchen Winkel α wählen, daß das aërodynamische Feld unserer gekrümmten Platte so einfach wie möglich, also tunlichst wirbelfrei werde. Diese Vorsichtsmaßregel läßt uns von vornherein den schädlichen Rücktrieb auf ein Minimum herabdrücken, ohne daß wir jedoch an nutzbringendem Plattenauftrieb Einbuße erleiden. Wir kommen, suchen wir uns diesem Ziele zu nähern, zu einer ganz eigentümlichen Lage der Platte, etwa wie sie in Fig. 66 dargestellt ist. Die Vorderkante A stellt dann nicht den höchsten Punkt der Fläche dar, vielmehr müssen die Stromlinien von A an bis E etwas ansteigen, um dann wieder sinkend die Platte anschmiegend zu umfließen. Ein ebensolches Anschmiegen der Stromlinien an den Körper findet auf der Hohlseite der Platte statt, so daß die Fläche eigentlich auf einer Einzelwelle aufsitzt, die sie selbst erzeugt hat. *Lilienthal*[1]) dachte sich die so entstandene Störung des gleichmäßigen Fließens als Wellenzug, während wir heute annehmen müssen, daß eben nur dieser eine Wellenberg unter der Fläche entsteht und keine weiteren Schwingungen im Medium auslöst. Es ist das Verdienst von *W. M. Kutta*[2]), nachgewiesen zu haben, daß eine solche Strömung, die man nach ihrem Erforscher *Kutta*sche Strömung nennt, für eine quer zur Stromrichtung unendlich ausgedehnte Platte mit den Bedingungen der Hydrodynamik verträglich ist.

Fig. 65.



Streng genommen ist die „*Kutta*sche Strömung" nur dann möglich, wenn wir es z. B. mit einer kreiszylindrischen, unendlich dünnen Schale zu tun haben, deren Sehne mit der Horizontalen den Winkel $\alpha = 0$ einschließt. Daß bei einer solchen Schale trotzdem noch eine Auftriebskraft existiert, hat *Kutta* (und unabhängig von ihm übrigens auch *Tschapligin* in Moskau) rechnerisch nachweisen können. Um die unter dem Luftstoßwinkel α geneigte Platte, wie sie in Fig. 66 dargestellt ist, unter den gleichen günstigen Bedingungen bezüglich Wirbelfreiheit behandeln zu können, ist eine Verdickung der Vorderkante in bestimmter Weise notwendig, wie sie schon *Kutta* angegeben hat und durch welche die Platte ihrem Querschnitt nach dem Vogelflügel mehr und mehr nachgeformt wird. Die Abrundungsdicke ist in der *Kutta*schen Arbeit von 1910 auch berechnet worden; wie wichtig

[1]) *O. Lilienthal*, Vogelflug. S. 77.

[2]) *M. Kutta*, Ill. Aëronaut. Mitteilungen, 1902, S. 133. Sitz.-Ber. d. bayrischen Akad. d. Wiss., 1910, 2. Abhandlung.

übrigens dieser eigenartige Querschnitt für den Vogelflug ist, hat *Seux*[1]) in zwei Publikationen hervorgehoben, in denen er die Verhältnisse von Flügeldicke an der Vorderkante zu Flügeltiefe und ihren Einfluß auf die aërodynamischen Eigenschaften des betreffenden Flügels eingehend untersucht.

Bei der gekrümmten Platte bemerken wir zunächst weit größere Auftriebskräfte wie bei der ebenen, gleichdimensionierten Platte. Da außerdem durch die günstige Anpassung an die Strömung der Widerstand vermindert wird, so erreicht das Verhältnis $\frac{A}{P}$ hier sehr vorteilhafte Werte. In Fig. 67 ist nach Versuchen von *Prandtl* der Vergleich zwischen der Größe $\frac{A}{P}$ für eine ebene Platte (gestrichelte Kurve) und eine gekrümmte Platte (ausgezogene Kurve. Wölbungspfeil: Breite = 1 : 25) von 20 × 5 *cm* Oberfläche für verschiedene Neigungswinkel der Wölbungssehne zur Horizontalen dargestellt. Man erkennt auch aus der oberen Kurve, daß bereits, wenn die Wölbungssehne horizontal steht, ein Auftrieb vorhanden ist, eine Erscheinung, die bereits *Lilienthal* gekannt hat und die *Kutta* berechnen lehrte. Das gegebene Wölbungsverhältnis $\frac{1}{25}$ erweist sich übrigens als das günstigste für gekrümmte Flächen.

Fig. 66.

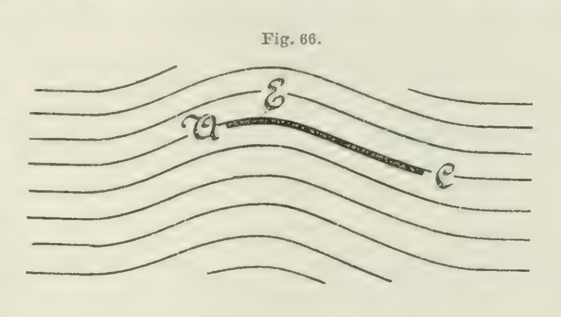
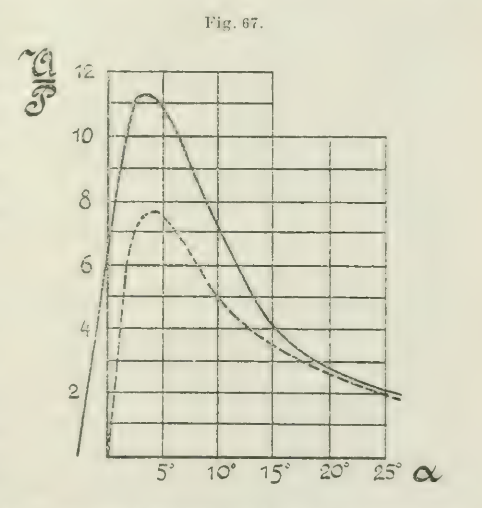


Fig. 67.



Das Göttinger aërodynamische Institut hat sich in verdienstvoller Weise dem Studium aller derjenigen Faktoren gewidmet, die für eine möglichst günstige Ausnützung der Luftwiderstandskräfte für die Zwecke der Aviatik erforderlich sind. So wurden nicht nur die günstigsten Wölbungsverhältnisse, sondern auch die Seitenverhältnisse (Länge zu Breite) der Tragflächen, ferner ihre Umrißformen studiert und die Ergebnisse in den in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt[2]) erscheinenden

[1]) *E. Seux*, Comptes rendus, 142, p. 772 (1906); 144, p. 73 (1907).

[2]) Verlag von R. Oldenbourg, München und Berlin. Jahrgang I, 1910; II, 1911.

Mitteilungen veröffentlicht. Es hat sich gezeigt, daß immer die langen und schmalen Tragflächen, selbstverständlich mit der Langseite vorangeführt, die günstigsten Wirkungsgrade $\frac{A}{P}$ erzielten. Schließlich ist die Form der Tragflächen, nach ihrem Umriß beurteilt, eingehend untersucht worden, so fanden *Föppl* und *Béjeuhr*[1]) u. a., daß bei wenig gewölbten Platten (Länge zu Breite 60 × 12 *cm*, Wölbungspfeil 0·48 *cm*) eine Abschrägung der hinteren Ecken etwa wie bei den Tragflächen der *Wright*-Apparate meist eine Verminderung des Wirkungsgrades $\frac{A}{P}$ zur Folge hatte. Eine große Verbesserung der Tragfähigkeit, wie sie *Lanchester* hervorhebt, tritt also durch dieses Beschneiden der Form jedenfalls nicht ein, wenn auch zuweilen, namentlich bei größerer Wölbungstiefe, $\frac{A}{P}$ etwas erhöht werden kann.

23. Was nun die *Avanzini*sche Erscheinung der Wanderung des Druckmittelpunktes bei gekrümmten Flächen anbetrifft, so haben wir hier ganz eigenartige Verhältnisse vor uns, mit deren Studium sich *Eiffel*, *W. Wright*, *Rateau*, *Prandtl* u. a. große Verdienste um die Aërodynamik erworben haben. Es zeigte sich nämlich, daß bei einer gewölbten Fläche mit abnehmendem Luftstoßwinkel der Druckmittelpunkt anfangs — ganz wie bei der ebenen Platte — nach der Vorderkante hin rückt, bei einem bestimmten kleinen Winkel zwischen Wölbungssehne und horizontalem Luftstrom (etwa in der Gegend von 15° für eine mittlere Wölbung) aber seine Bewegung umkehrt, um wieder bei horizontaler Sehne ungefähr in die Mitte der Platte zurück zu gelangen. Diese Verschiebungsamplitude beträgt für eine Tragfläche von 2 *m* Breite etwa 30 *cm*. Die Wichtigkeit dieses Umstandes liegt auf der Hand. Soll ein Aëroplan während seines Fluges im Gleichgewichte bleiben, seine horizontale Lage also möglichst wenig verlassen, so müssen diese Wanderungen des Druckmittelpunktes in Betracht gezogen werden. Es ist für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes natürlich nicht belanglos, ob die Auftriebskraft, die wir dem Luftdruck auf die Tragflächen verdanken, in größerer oder geringerer Entfernung vom Schwerpunkt des fliegenden Systems angreift. Das Drehmoment: Auftrieb mal Distanz des Druckmittelpunktes vom Schwerpunkt variiert also, wie wir gesehen haben, mit dem Luftstoßwinkel, und es ist diese Variation bei ebenen Platten eine weit einfachere und leichter zu berücksichtigende wie bei gekrümmten Tragflächen, ein Nachteil, der einen Teil der Vorzüge der letzteren Plattenform wettmacht.

24. Der angenäherte Stromlinienkörper wird uns in Hinblick auf seine Anwendung beim Lenkballon zum Schlusse unserer kurzgefaßten Übersicht über die Aërodynamik noch Stoff zu ein paar einfachen Überlegungen geben. Wie schon ganz am Anfang gezeigt, gelingt es nur annähernd, das Problem der widerstandslosen Körperform zu lösen. Daß wir

[1]) Zeitschr. f. Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, II, S. 83 (1911).

auf alle Fälle dem Körper Spindelform geben müssen, wollen wir das „tote Wasser" möglichst verkleinern, haben wir längst erkannt, wollen aber noch des französischen Obersten *Renard* gedenken, der zu einer Zeit, da die Aërodynamik noch ganz unbebautes Land war, energisch auf dieses Spindelprinzip hingewiesen hat. Heute wissen wir, daß die Spindelform allein noch nicht genügt, um den Widerstand auf sein Minimum herabzusetzen, sondern daß es bestimmte günstigste Spindelformen gibt. In einer interessanten Studie vergleicht *Fuhrmann*[1]) verschiedene Spindeln, von welchen etwas über 1 *m* lange Modelle galvanoplastisch hergestellt und untersucht wurden. Durch feine Anbohrungen längs eines Meridianes der Modelle, die nacheinander mit dem Manometer in Verbindung gesetzt wurden, ermittelt *Fuhrmann* die Druckverteilung über den ganzen Körper, in ähnlicher Weise also, wie es Verfasser gemeinsam mit *Räber* für die ebene Platte ausgeführt hat. Die hydrodynamische Theorie erlaubt nun, den Druckverlauf theoretisch herzuleiten und so gewinnt man eine interessante Nebeneinanderstellung beider Ergebnisse. Zunächst erscheint die Zone des Druckes Null schon bedeutend vor der Stelle größten Durchmessers, also im Sinne der Beobachtungen von *Lafay*, die durch Fig. 42 veranschaulicht worden sind. Die Spitze des Modells erleidet den Druck, welcher der „Geschwindigkeitshöhe" des Luftstromes (vgl. S. 79) entspricht, während das Hinterende ganz zuletzt ebenfalls unter Überdruck stehend keinen genügend großen Druck im entgegengesetzten Sinne erfährt (vgl. Fig. 41 *b*), daß die Resultakte beider Kräfte Null werden könnte. Es bleibt also ein gewisser Rücktrieb übrig, der sich aber bei einem besonders günstigen Modelle recht klein machen läßt.

Als Grundprinzip, das wir der Regel von der Spindelform zufügen müssen, ergibt sich aus den *Fuhrmann*schen Messungen die Notwendigkeit, zur Erzielung geringsten Luftwiderstandes den größten Durchmesser der Spindel vor die Mitte zu legen (wie das in den Figg. 40 C und 41 dargestellt ist).

25. Bei Ballonmodellen kommt nun noch mehr als bei den Flächen die Reibung der Luft an der Oberfläche des Körpers in Betracht: der tatsächliche Widerstand der oben erwähnten Stromlinienkörper muß also teilweise aus dem durch Wirbelablösung (vgl. S. 53) entstandenen „toten Wasser", teilweise aber auch aus der „nach rückwärts schiebenden" Reibung der Luft am Körper zusammengesetzt gedacht werden. Das Gebiet ist heute noch nicht genügend bekannt, als daß wir an dieser Stelle eingehender auf die bis jetzt gewonnenen Resultate eintreten könnten. Es sei bloß hervorgehoben, daß der Reibungswiderstand jedenfalls mit einer geringeren als der zweiten Potenz (etwa der 1·7—1·8ten) der Geschwindigkeit zunimmt.

26. Wie sich lediglich auf Grund genauer Kenntnis der Thermodynamik noch keine Dampfmaschine bauen, keine Lokomotive führen läßt,

[1]) *G. Fuhrmann*, Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt, III, S. 165 (1911).

so wird auch zur Konstruktion eines brauchbaren Flugzeuges mehr wie ein eingehendes Studium der Aërodynamik erforderlich sein. Es ist auffallend, daß es praktische Amerikaner waren, denen der erste Motorflug (am 17. Dezember 1903) gelang; nur der Weg, den *O. Lilienthal* eingeschlagen hatte, konnte zum Ziele führen. Er hatte gezeigt, daß lediglich durch häufig wiederholte Gleitflüge ohne irgend welche andere treibende Kraft als die Schwere des Apparates im Verein mit den Kräften, mit denen der Wind am Flugdrachen angreift, genügend praktische Kenntnisse erworben werden konnten, um den betreffenden Experimentator zum Bau einer Flugmaschine zu befähigen. Das Gleitflugzeug haben wir uns als bemannten ungefesselten Drachen vorzustellen, mit Hilfe dessen der Flieger[1]) von einem erhöhten Standorte aus in langsam abfallender Bahn zur Erde zurückkehrt. Er legt dabei, je nach der Steilheit seines Fluges, einen mehr oder minder weiten Weg zurück und wird, falls sein Versuch in richtiger Weise verläuft, tangential zum Erdboden ankommen. Im Kampfe mit dem Gleichgewicht, das durch verschiedenste Ursachen wie unregelmäßige Windverhältnisse, Schwerpunktsverlegungen usw. oft ernstlich gefährdet erscheint, gewinnt er die empirischen Grundlagen zum Bau eines stabileren Motorfliegers, der mehr als bloße Gleitflüge zu machen erlaubt. Auf *Lilienthal* folgten die Gebrüder *Wilbur* und *Orville Wright*, wenn wir vom Grafen *Lambert* in Paris und von *Pilcher* in Amerika absehen [Graf *Lambert* hatte sich von *Lilienthal* einen Gleitflieger bauen lassen und damit Gleitflüge angestellt, er war später einer der ersten Schüler der *Wrights*; *P. S. Pilcher* hat sich durch kühne Gleitflüge ausgezeichnet, denen er leider im Jahre 1899 zum Opfer fiel].[2]) Durch die vorzüglichen Arbeiten *Chanutes* angeregt, setzten die beiden Brüder *Wright* ihre Gleitflüge unermüdlich und mit steigendem Erfolge fort, versuchten durch Laboratoriumsexperimente, sich die wissenschaftliche Basis selbst zu schaffen, konstruierten 1903 ihren eigenen Motor und erwarben sich so den Ruhm, als die ersten mit einem „plus lourd que l'air" geflogen zu sein. Wir kennen die Namen der ersten erfolgreichen Flieger in Frankreich. *Farmans* typischer Zweidecker, von den Militärbehörden bevorzugt, *Blériots* graziöser Monoplan, das Endprodukt einer langen Konstruktionsreihe sind wohl allen geläufig, die der Fliegekunst Interesse entgegenbringen. Ein Heer von Konstrukteuren hat sich die Erfahrungen der Pioniere zunutze gemacht und neue verbesserte Flugzeuge gebaut, so daß heute an brauchbaren Maschinen kein Mangel herrscht. Auch Deutschland holt den Vorsprung des Nachbarlandes mit raschen Schritten ein und baut Aëroplane, die erfolgreich mit ihren älteren Vorbildern in Wettbewerb treten. Den aërodynamischen Instituten gesellen sich Werkstätten, Flugplätze und Fliegerschulen bei, die sich rege um die Lösung der großen Aufgabe bemühen, dem Flugzeug dieselbe Verbreitung und Sicherheit zu geben, die

[1]) Unter Flieger soll immer der Führer des Flugzeuges, nicht letzteres selbst verstanden sein.

[2]) Vgl. *H. Adams*, Flug, S. 25. C. F. Amelang, Leipzig 1909.

das Automobil bereits erreicht hat. Namentlich für die einem gefährlichen Stillstand entgegentreibende Automobilmotoren-Industrie bedeutete die Konstruktion von Flugmotoren als belebendes Moment eine wertvolle Verbesserung der allgemeinen Lage.

Es ist hier selbstverständlich nicht der Ort, die Flugmaschine in all ihren Details und Funktionen eingehend zu beschreiben; wenn wir uns zum Schlusse der vorliegenden Abhandlung mit der praktischen Aviatik befassen, so geschieht es mehr, um den Zusammenhang zwischen theoretischer und experimenteller Aërodynamik und der praktischen Ausgestaltung beim mechanischen Fluge darzutun. Als übersichtliche Wiederholung der Prinzipien des Luftwiderstandes mag die Beschreibung der Grundform eines Aëroplans unter gleichzeitiger Darlegung der Funktionen seiner Organe hier Platz finden.

27. Wie am Körper des Vogels die Flügel, so sitzen am Körper oder Boot des Aëroplans die Tragflächen[1]) symmetrisch zur Längsachse angeordnet. Das Boot beherbergt außer den Sitzplätzen für den Flieger und seine Gäste den Motor, der die Luftschraube (Propeller) antreibt. Brennstoffbehälter wie Kühlvorrichtungen für den Motor finden auch im Boote Platz. Von seinem Sitz aus vermag der Flieger oder Pilot mit Händen und Füßen die verschiedenen Organe der Steuerung zu betätigen, obwohl die Flächen, deren Luftwiderstandskräfte die Lenkung beeinflussen sollen, so weit wie möglich vom Schwerpunkte des ganzen Systems entfernt gehalten werden. Entsprechend der dreidimensionalen Beweglichkeit des Flugzeuges wird ein Höhensteuer (auf- und abwärts wirkend) und ein Seitensteuer (links und rechts drehend) vorgesehen sein. Der Aëroplan stellt im Fluge ein frei um seinen Schwerpunkt bewegliches System dar. Da es sich aber beim Flugprobleme darum handelt, diesen frei beweglichen Körper stets merklich in derselben Lage zur Erdoberfläche, nämlich in wenig von der horizontalen abweichender Stellung, durch den Raum hindurch zu bewegen, so können wir von einer wohldefinierten Gleichgewichtslage des Apparates sprechen und sehen die Notwendigkeit ein, dieses Gleichgewicht durch besondere Vorrichtungen stets aufrecht zu erhalten. Teilweise wird dieser Bedingung schon durch die Steuerorgane genügt, die also neben ihrer Hauptaufgabe auch den Zwecken der Stabilisierung dienen, teilweise sind wir aber zur Einführung spezieller Stabilisierungsvorkehrungen gezwungen, da die Lösung des Hauptproblems der in sich selbst stabilen Flugmaschine noch nicht gelungen ist.

Als spezielles Beispiel einer vorzüglichen Flugmaschine sei der *Blériot*sche Eindecker (Type „Circuit de l'Est") hier eingehender beschrieben. Er ist in Fig. 68 A im Grundriß, in Fig. 68 B im Aufriß skizziert. An

[1]) Wir denken hier an den Eindecker, den ursprünglichen Aëroplantyp; der *Wright*sche Biplan entbehrt des Bootes, der Führer sitzt in der Mitte der unteren Tragfläche. Es existieren jedoch auch Zweidecker mit Boot, wie z. B. der Biplan von *Bréguet*.

dem 7·65 *m* langen, schlanken Boote A, dessen Gestalt, soweit es möglich ist, einen Stromlinienkörper nachahmt, sitzen die beiden mächtigen Haupttragflächen B und B'. Ihre Breitenausdehnung von 8·9 *m* bei einer Tiefe von 2 *m* entspricht dem Prinzipe, großen Auftrieb durch eine lange schmale, mit der langen Kante vorangeführte Tragfläche zu erzielen. Die Krümmung der Tragfläche ist eine recht eigenartige. Zunächst bemerken wir

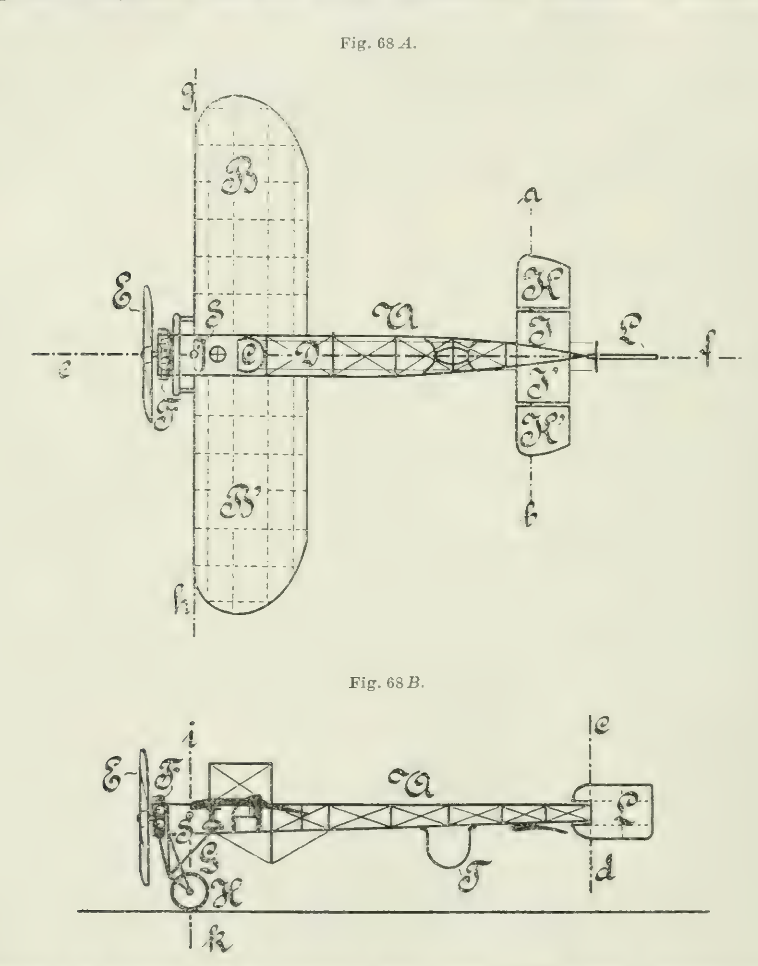


Fig. 68 *A*.

Fig. 68 *B*.

2 Kurven von etwas verschiedener Krümmung, eine obere gewölbtere und eine untere flachere, die den Querschnitt begrenzen und ihm möglichst Stromlinienform zu geben suchen. Daß hier der höchste Punkt des Querschnittes nicht in der Vorderkante, sondern etwa im ersten Sechstel der ganzen Flügeltiefe liegt, verstehen wir nach den *Kutta*schen Überlegungen. Man bezweckt mit der eigenartigen Krümmung des Tragdeckes ein möglichst wirbelfreies Umfließen der Fläche, erzielt so maximalen Auftrieb bei geringstem Verluste an rücktreibendem Luftwiderstande. So wird also der

Wirkungsgrad $\frac{A}{P}$ einer Aëroplanfläche am günstigsten zu gestalten versucht. Die Krümmung der Fläche ist nun nicht eine einfache, sondern sie beginnt etwa parabolisch, um gegen das Hinterende durch einen Wendepunkt hindurch ihr Vorzeichen zu wechseln[1]; die Fläche biegt sich also ganz schwach S-förmig. So ahmt die Technik mit ihren verhältnismäßig starren Hilfsmitteln den elastischen Vogelflügel nach. Auch dieser ist an der Vorderkante stark verdickt, während er nach der Hinterkante zu immer dünner werdend ausläuft. Wir bemerken übrigens bei anderen Aëroplantypen eine noch weitergehende Nachahmung der Natur, so läßt z. B. *Grade* die Tragflächen seines Monoplans nach der Hinterkante zu immer biegsamer werden und benutzt diese Elastizität direkt zu Steuerungszwecken.

Um den Reibungswiderstand der Flächen möglichst zu verringern, verfertigt man ihre Hülle aus glattem Ballonstoff, lackiert sie auch wohl, wie es *Nieuport* bei seinem besonders schnellen Apparate tut, und schützt sie gleichzeitig dadurch etwas mehr vor den Unbilden der Witterung. Zum Zwecke leichteren Transportes lassen sich die weit abstehenden Tragdecken dicht am Boote abnehmen. Ihr äußerer einfacher und glatter Anblick läßt die große Zahl von Querrippen und Längsstreben nicht vermuten, die zur Versteifung der auf große Belastung beanspruchten Fläche notwendig sind. Die Oberfläche beträgt etwa 14 m^2.

Nur sehr beschränkt ist der Raum für den Piloten C, der ungefähr in der Mitte zwischen den Tragflächen sitzt; ein Passagierplatz D kann hinter dem Führersitze eingefügt werden. Vor dem Flieger liegen in übersichtlicher Anordnung die Benzin- und Ölbehälter[2], die Schaugläser, welche die Schmierung der reibenden Motorteile jederzeit überwachen lassen, ferner werden das Barometer zur jeweiligen Angabe der Höhe, der Schalter für die elektrische Zündung und einige kleine Kontrolleinrichtungen im nächsten Gesichtsfelde des Führers anzubringen sein. Auf die Steuerung gehen wir weiter unten des näheren ein.

Den Kopf des Bootes nimmt der Propeller E und sein Antriebsmotor F ein, während das Anlaufsgestell G mit seinen zwei kräftig abgefederten Pneumatikrädern H den vorderen schwersten Teil des Aëroplans während seines Anlaufs auf dem Erdboden zu tragen hat. Bei den früheren Modellen lag auch unter dem Hinterende des Bootes ein kleineres Rad; da es sich aber im ersten Momente des Anlaufens vom Boden abhebt, so erscheint es nicht als notwendig und kann ebensogut durch einen Schleifbogen T aus Meerrohr ersetzt werden, wie dies heute allgemein ausgeführt wird.

---

[1]) Oder wenn auch das Vorzeichen des Krümmungsradius dasselbe bleibt, so ändert sich doch der Krümmungsradius selbst. Er wird länger bis unendlich lange, wenn die gekrümmte Fläche in eine Ebene ausläuft.

[2]) Der Hauptbenzintank liegt übrigens unter dem Führersitze und fördert pneumatisch von Zeit zu Zeit ein Quantum Brennstoff in den Nebenbenzinbehälter vor dem Führersitze.

Als Motor verwendete *Blériot* früher, beispielsweise bei seinem denkwürdigen Fluge über den Ärmelkanal (am 25. Juni 1909) einen von *Anzani* gebauten Benzin-Explosionsmotor mit 3 Zylindern von 25 HP. Heute werden in seine Eindecker meist Motoren mit kreisenden Zylindern und fester Achse, etwa die Gnômemotoren, eingebaut, auf deren stabilisierende Kreiselwirkung wir noch zurückkommen werden. (Es sei noch bemerkt, daß bei dem vom Automobil her übernommenen Motor bekanntlich ein Gemisch von Benzindampf und Luft, wie es in passendem Verhältnis im „Carburator" hergestellt wird, durch einen an der „Zündkerze" überspringenden Funken im Zylinder zur Explosion gebracht wird und so den Kolben mit großer Gewalt vorwärts treibt.)

28. Der Motor versetzt die Luftschraube in rasche Drehung und liefert so das den Flug bedingende treibende Element; der Luftstrom, welcher durch die Schraube erzeugt wird, die Form und Dimensionierung des Propellers müssen uns noch etwas beschäftigen. Die mathematische Theorie der Luftschraube bietet heute noch eine Reihe von unüberwundenen Hindernissen dar. Es geht eben nicht an, die Theorie des Propellers von einem auf der gekrümmten Oberfläche der Luftschraube gewählten Flächenelemente aus in einfacher Weise herzuleiten, da, wie wir schon früher sahen, die benachbarten wie die entfernteren Flächenteile die Druckverhältnisse des gewählten Elementes beeinflussen. Es wird notwendig sein, das aërodynamische Feld des arbeitenden Propellers genauer zu studieren, als es bisher möglich war, um ein abschließendes Urteil zu gewinnen; wir werden versuchen müssen, die Vorgänge auf der Luv- oder Druckseite und, was noch wichtiger ist, die Erscheinungen auf der Lee- oder Saugseite der Schraubenflügel kennen zu lernen, wenn wir aus dem bloßen gefühlsweisen Konstruieren von Luftschrauben zu einem exakten Bau dieses so wichtigen Organes durchdringen wollen; und dazu ist man ja auf dem besten Wege.

Die Versuche mit dem fahrenden Propellerwagen, den *Prandtl* für die Internationale Luftschiffahrtausstellung in Frankfurt (1909) entworfen hatte[1]), die Arbeiten von *Bendemann*[2]) an der Geschäftsstelle für Flugtechnik des Sonderausschusses der Jubiläumsstiftung der deutschen Industrie zielen alle in derselben Richtung, der mathematischen Theorie genügende experimentelle Grundlagen zur Entwicklung solcher Gleichungen zu geben, die den wirklichen Vorgängen tatsächlich entsprechen. Es können an dieser Stelle nur diejenigen Hauptpunkte hervorgehoben werden, die für die richtige Beurteilung einer Luftschraube in Betracht kommen. Wie die bekannte, sich in fester Schraubenmutter vorwärts drehende gewöhnliche Schraube, so wird auch der im leicht beweglichen Medium umlaufende Propeller eine gewisse Steigung besitzen. Um eben diese Steigung schöbe sich die ganze

---

[1]) Zeitschr. f. Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, I. Heft 1—4 (1910); II. Heft 8—11 (1911).

[2]) Ibid., I. Heft 22 u. 23 (1910); II. Heft 11, 12, 13, 17 u. 19 (1911).

Schraube bei einmaliger Umdrehung um ihre Achse voran, wenn sie sich in fester Mutter bewegte; sie kann jedoch naturgemäß den ganzen Weg nicht zurücklegen, wenn sie sich im beweglichen Medium befindet, indem eben ein Teil der mechanischen Arbeit in Vorwärtsbewegung der Schraube selbst, ein anderer Teil aber in Rückwärtsbewegung der Luft aufgezehrt wird. Die Luftschraube deformiert eben ihre Schraubenmutter, fortwährend saugt sie auf der Vorderseite (Druckseite) einen Luftstrom an, um ihn hinten als Reaktionsstrahl auszustoßen. Beide Bewegungen des Propellers sollten also gleichzeitig untersucht werden; es genügt für die Beurteilung einer Luftschraube nicht, ihre Zugkraft bloß „im Stand" zu messen, sondern man will das Verhältnis ihrer Leistung zu der pro Zeiteinheit aufgewendeten Antriebsarbeit ermitteln, während sie sich selbst mit bestimmter Geschwindigkeit durch die Luft voranbewegt. Daher die Untersuchung am fahrenden Propellerwagen oder, was allerdings schwieriger und ungenauer, am fliegenden Lenkballone *(Renard)* oder Aëroplane *(Le Grand)*. Es ist leicht einzusehen, wie sich bei der Luftschraube Vorwärtsbewegung (Marschgeschwindigkeit) und Luftstromgeschwindigkeit gegenseitig verhalten. Vom Unterschiede zwischen der wirklichen Marschgeschwindigkeit und der theoretischen, allein durch die Steigung bedingten, also von der Schlüpfung (Slip), hängt die Zugkraft des Propellers in bestimmter Weise ab. An Hand einer einfachen schematischen Skizze (Fig. 69) wollen wir uns noch ein paar Gesichtspunkte vor Augen führen, die dem Konstrukteur von Luftschrauben den richtigen Weg weisen. Von der gewöhnlichen Schraubenfläche ausgehend gelangt man durch passende Wahl der Luftstoßwinkel und der Flügelprofile, durch richtiges Bemessen von Steigung, Flügellänge und -breite zu einem günstigsten, den jeweiligen Anforderungen entsprechenden Wirkungsgrade des betreffenden Propellers. Die Frage, ob es sich um eine Tragschraube (beim Schraubenflugzeug, Helicoptère) oder um ein Vortriebsorgan (beim Lenkballon oder dem Drachenflugzeuge) handelt, wird die Dimensionierung und Formengebung beeinflussen; soll doch im ersteren Falle die Schraube ihre Maximalleistung „im Stande", im zweiten Falle aber im Fluge liefern.

Fig. 69.

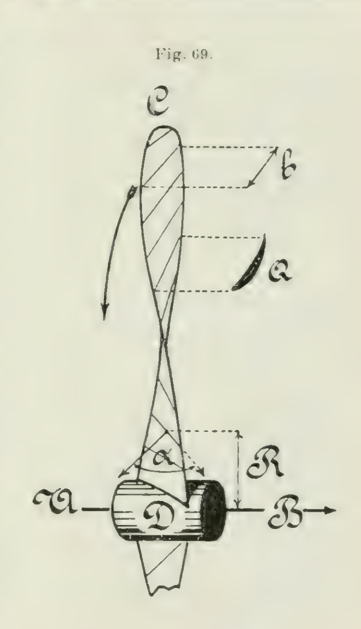


Fig. 69 stellt zunächst eine aus einer geometrischen Schraubenfläche hergestellte zweiflügelige Schraube von der konstanten Flügelbreite b dar. Von der Achse AB aus nimmt der Luftstoßwinkel α eines Oberflächenstückes mit wachsendem Radius R ab. Wir haben es nun, wie man leicht einsieht, vollkommen in der Hand, diesen Verlauf des Luftstoßwinkels α

mit dem Radius (und damit ja bei der sich drehenden Schraube auch mit der peripherischen Geschwindigkeit des betreffenden Oberflächenstückes) nach Belieben zu regeln, so etwa, daß alle Flächenstücke bei der Drehung denselben Luftdruck erfahren. Genügt die Veränderlichkeit des Luftstoßwinkels allein nicht, dann ändern wir eben noch die Flügelbreite, indem wir sie etwa nach außen zunehmen lassen. Schließlich, und das ist sehr wichtig, muß der Flügel nicht nur aus Festigkeitsgründen, sondern viel mehr auf Grund aërodynamischer Überlegungen ein bestimmtes Profil derart erhalten, daß er eine möglichst wirbelfreie Strömung erregt. Die Vorderkante CD (also die bei der Drehung voran bewegte) muß im *Kutta*schen Sinne verdickt werden, während man die Hinterkante möglichst scharf verlaufend gestalten wird. Auch werden wir der Fläche eine bestimmte Krümmung zu geben haben, natürlich so, daß die Flügel mit der Konvexseite nach vorne sich durch die Luft schrauben. Der Krümmung und Formgebung der Druckseite des Propellers werden wir die gleiche Sorgfalt angedeihen lassen wie derjenigen der Saugseite, ein Umstand, der bis vor kurzem nicht genügend gewürdigt worden ist. Was die technische Herstellung der Schrauben anbetrifft, so sei noch das geistreiche Verfahren erwähnt, den Propeller aus einzelnen gegeneinander um einen kleinen Winkel progressiv verdrehten Holzlamellen im Rohbau herzustellen und dann die endgültige Form aus diesem Gefüge herauszuarbeiten *(Chauvière)*. Daß die Glättung und Politur der Oberfläche natürlich eine hervorragende Rolle spielt, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden, hat man doch in der Theorie der Luftschrauben weit mehr als beim Tragdeck der Oberflächenreibung der Luft Rechnung zu tragen. Von einem „besten Propeller“ im allgemeinen zu sprechen, geht naturgemäß nicht an, da ja verschiedene Anforderungen gestellt werden können. Je nachdem Schnell- oder Langsamläufer verlangt werden oder das Gewicht oder die Dimensionierung die Hauptrolle spielen, werden wir zum einen oder anderen Systeme greifen. Es ist das Verdienst von Prof. *Prandtl* gewesen, spezielle Güteziffern für Luftschrauben aufgestellt zu haben, die mannigfache Faktoren gemeinsam zu berücksichtigen erlauben.[1])

29. Wir wenden uns nun zur Steuerung der Flugmaschine und wollen uns von den Aufgaben der einzelnen Steuerungsorgane überzeugen, indem wir den Vorgang verfolgen, der sich bei einem Fluge abspielt. Der Führer habe auf seinem Sitze Platz genommen, die Gehilfen „werfen den Motor an“, indem sie kräftig tangential an der Schraube angreifend derselben eine ganze oder eine halbe Umdrehung geben. Nun beginnt der Reaktionsstrahl der kräftig umlaufenden Schraube einen Luftstrom nach hinten, dem Boote entlang, zu senden und hebt sofort die beiden links und rechts vom Hinterende des Bootes befindlichen Flächen J und J', K und K' in

---

[1]) Ein Demonstrationsapparat zum Studium kleiner Nachbildungen von Propellern in Verbindung mit dem aërodynamischen Instrumentarium des Verfassers ist im Bau begriffen (Oktober 1911).

die Höhe. Das Flugzeug beginnt nun, allein auf den beiden Rädern H rollend, mit wachsender Geschwindigkeit auf dem Erdboden anzulaufen. Wie aus Fig. 68 ersichtlich, sind die Flächen J und K geteilt, und zwar unterscheiden wir das starre Flächenpaar J und J' als Dämpfungsflächen vom beweglichen, um die Achse a—b drehbaren Flächenpaare K und K', welches der Höhensteuerung dient. Sieht nämlich der Pilot den geeigneten Moment gekommen, wo die Anlaufsgeschwindigkeit seines Apparates genügend groß geworden ist, um bei passendem Luftstoßwinkel einen wirksamen Auftrieb zu erzeugen, so stellt er mittelst des Universalsteuerhebels, dessen radförmigen Griff er mit beiden Händen erfaßt, die Flächen K und K' mit ihrer Vorderkante nach unten so, daß ein Herabdrücken des Schwanzendes oder, relativ gesprochen, ein schwaches Aufbäumen des Apparates erfolgt. Dadurch erhalten die Tragflächen B und B' einen größeren Luftstoßwinkel, der Auftrieb vergrößert sich (wenn wir innerhalb der richtigen Grenzen verharren) und der Aëroplan verläßt den Boden. Das Höhensteuer KK' wirkt also, wenn es hinter der Tragfläche angebracht ist, dadurch, daß es das Hinterteil des Apparates zu senken versucht und so der Flugbahn eine langsam steigende Richtung gibt. Es ist übrigens klar, daß die Handhabung des Steuers große Vorsicht und maßvolle Beschränkung verlangt. Mancher unglückliche Sturz ist auf allzu brüske Anwendung eines Steuerdruckes zurückzuführen. Nun hat sich der Apparat in die Lüfte erhoben und ist physikalisch als ein allseitig beweglicher freischwebender Körper zu betrachten, der sich mit bestimmter Geschwindigkeit durch den Raum bewegt.

30. Es kommt ihm, wie bereits hervorgehoben worden, nun eine bestimmte Gleichgewichtslage zu, aus der er sich, wollen wir die Gefahr des Kippens oder Überschlagens vermeiden, nur innerhalb enger Grenzen entfernen darf. Sein Gleichgewicht muß ein stabiles sein, d. h. eine Störung desselben muß auf irgend eine Weise rasch beseitigt und die Gleichgewichtslage bald wieder erreicht werden.

Dieses Aufrechterhalten des Gleichgewichtes nennen wir Stabilisierung und sprechen von einer willkürlichen Stabilisierung, wenn die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes dem Piloten überlassen wird, von einer automatischen Stabilisierung, wenn der Apparat von selbst eine instabile Lage wieder korrigiert. Es ist bis heute (Ende 1911) noch nicht gelungen, dies letztere Ziel zu erreichen, obwohl namhafte Verbesserungen der älteren Flugzeugkonstruktionen in dieser Hinsicht vorliegen. Die Frage, ob ein automatisch stabiler Aëroplan überhaupt möglich, ist noch nicht einmal mit Entschiedenheit beantwortet worden. Aus der Tatsache allein, daß die Natur im Zanoniasamen und anderen ähnlichen fliegenden Pflanzenteilen das Problem im kleinen gelöst hat, ist noch nicht ohne weiteres der Schluß zu ziehen, daß auch bei so großen Dimensionen, wie sie die Flugmaschine aufweist, eine strenge Lösung der Aufgabe möglich sei. Der Flugapparat von *Etrich* ist ja direkt der Zanonia nachgebildet und scheint sehr stabil zu sein, ist aber vom erstrebten Ziele noch weit entfernt. Legen

wir ein rechtwinkliges Koordinatensystem durch den Schwerpunkt des betrachteten Apparates, der etwa bei S liegen soll, und zwar so, daß wir außer der Längsachse e—f durch das Boot eine Querachse g—h durch die Vorderkante der Tragfläche BB' hindurchlegen und schließlich in S eine Vertikalachse i—k errichten, dann haben wir 3 Drehungsachsen gewonnen, die für die Stabilisierung des fliegenden Aëroplans von größter Wichtigkeit sind. Es kann ja der Apparat zunächst nach einer Seite, also um die Längsachse umkippen, dann wird er der Quere nach instabil geworden sein und es müssen besondere Vorrichtungen für die Querstabilität (transversale Stabilität) sorgen.

Ein Schwanken in dieser Richtung ist ja übrigens nichts anderes als das Rollen (Roulis) eines Schiffes im Wellengange. Nun kann die Flugmaschine aber auch „kopfüber" nach vorne stürzen oder stark nach rückwärts geneigt zu Falle kommen, dann wird eine Drehung um die Querachse erfolgen, die Längsstabilität (longitudinale Stabilität) gefährdet sein. Diese Bewegung hat ihr Analogon im Stampfen (Tangage) des Schiffes. Endlich vermeidet man gerne ein „Schlingern" oder „Ecken" des Flugzeuges, welches als Schwingung um die vertikale Achse auftritt.

Das Höhensteuer K, K' wird eine Drehung um die Querachse g—h, das Seitensteuer L eine solche um die Vertikalachse i—k oder eine zu ihr parallele Achse bewirken, wobei wir bedenken, daß in der Luft eine Drehung fast immer mit einem Abtreiben des Apparates verbunden sein wird. Es ist auch nicht überflüssig zu bemerken, daß naturgemäß die Wirkung irgend eines Steuergriffes erst einige Zeit nach seiner Handhabung effektiv erfolgt, ein Grund, weshalb die Geistesgegenwart des Piloten von ungeheurer Wichtigkeit für die Sicherheit eines Fluges ist.

Wir verfolgen den Flieger auf seinem Luftwege weiter. Sein Apparat ist willkürlich stabil und so muß durch richtige rasche Steuerbewegungen jede kleine Gleichgewichtsstörung während des Fluges rasch ausgeglichen werden. Dies ist der Grund, weshalb sich der Pilot während des Fluges lediglich mit seiner Maschine befassen kann, ihr muß er seine ganze ungeteilte Aufmerksamkeit zuwenden und kann nur schwer nebenbei noch das Amt eines militärischen Aufklärers übernehmen; er wird deshalb, handelt es sich etwa um einen Flug zu militärischen Zwecken, einen Passagier mit sich führen, der die eben genannte Aufgabe, z. B. die Truppenbesetzung irgend eines Geländes zu erforschen, ausführen kann.

Die Querstabilität ist nun zum Teil schon durch die Form der Tragfläche begünstigt. Die längliche, mit der langen Seite vorangeführte Platte ist schon bis zu einem gewissen Grade stabil, besonders wenn wir sie etwas in der Mitte V-förmig knicken. Auf dieses Prinzip hat 1896 schon *Langley* hingewiesen und seine Lehren haben weitgehende Beachtung gefunden. Eine andere Frage ist die der Querstabilität bei Wendungen. In einer Kurve wird sich der innere Teil viel langsamer bewegen wie der äußere Teil des Aëroplanes, auf der Innenseite der Kurve wird also der vom Quadrate der Geschwindigkeit abhängige Auftrieb ein geringerer sein

wie außen und so liegt die Gefahr nahe, daß eine einseitige Senkung des Apparates nach der Achse der Kurve zu stattfinden und einen seitlichen Sturz einleiten könne. Diesem Übelstande können wir aber durch Variation des Luftstoßwinkels begegnen, wir müssen die Luftstoßwinkel bloß so wählen, daß der durch die Verminderung der Geschwindigkeit verkleinerte Auftrieb durch die Änderung des Luftstoßwinkels wieder auf normale Höhe gebracht wird; entsprechend dem Ort des Tragflächenquerschnittes werden nun auch die Werte des Luftstoßwinkels verschieden sein müssen; das kann aber nur dann geschehen, wenn wir die Tragflächen verdrehen, so daß eine Art flacher Schraubenfläche entsteht.

Diese Flächenverdrehung oder die sogenannte Verwindung ist von den Gebrüdern *Wright* in genialer Weise bei ihrem Aëroplane zur Kurvenstabilisierung verwendet worden und hat dann rasch (soweit es durch die Patente der *Wrights* möglich war) ihre europäischen Nachahmer gefunden. Bei einer Wendung wird auch am Blériotapparate nicht nur durch einen besonderen Fußhebel das Steuer L zur Seite gedreht, sondern es werden durch bestimmte Zugdrähte vom Universalsteuer aus die Tragflächen B und B' verwunden, so daß die einseitige Senkung beim Kurvenfluge auf ein zulässiges Maß herabgedrückt wird.

In der Längsrichtung kann der Apparat ebenfalls stabilisiert werden, wenn eine genügend große, genügend weit vom Schwerpunkt entfernte dämpfende Schwanzfläche vorhanden ist. Alle Schwingungen um die Querachse vermindert die Schwanzfläche KJJ'K', deren feste Teile JJ' lediglich stabilisierenden Zwecken dienen. Trotzdem wird sich der Flieger genötigt sehen, durch fortwährendes Verstellen der beweglichen Teile K und K' (des Höhensteuers) störenden Luftwirbeln, die von Windstößen, von Temperaturverschiedenheiten in der Atmosphäre oder von vorragenden Teilen der Erdoberfläche herrühren, wirksam zu begegnen. In seinen Bestrebungen bezüglich der Längsstabilität unterstützt ihn der „Gnôme“motor[1]) (oder eine ihm nachgebildete Konstruktion) in wirksamster Weise. Bekanntlich sucht ein drehender Kreisel seine Rotationsebene und damit auch seine Drehachse im Raume fest zu erhalten. (Seitliche umkippende Drehmomente bewirken keine vollständige Änderung der Achsenrichtung, sondern bloß die als Präzession bekannte konische Drehung der Achse.) Könnte man nun durch ein massiges Schwungrad am Aëroplanmotor diese stabilisierende Wirkung des Kreisels ausnutzen, so wäre der Fliegekunst damit ein großer Dienst erwiesen. Daß es nicht eben ein Schwungrad zu sein braucht, beweist die geniale Grundidee des Rotationsmotors. Man kehre einfach die Verhältnisse um, lasse nämlich den ganzen Motor mit seinen (nun natürlich allseitig ausbalancierten) Zylindern um die festgehaltene Achse umlaufen und man hat einen massigen Kreisel vor sich, ohne durch die Anbringung eines schweren Schwungrades der Flugmaschine tote Massen auf-

---

[1]) *G. Schendel,* Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt, I. Heft, 23 (1910); II. Heft, 1 u. 2 (1911).

bürden zu müssen. Der rotierende „Gnôme“motor (ihm scheint in Deutschland im Bucherer-Rotationsmotor[1]) ein wirksamer Konkurrent zu erstehen) stabilisiert also longitudinal: das Drehmoment, welches er der Flugmaschine durch Reaktion erteilt, muß natürlich ausgeglichen werden.

Von der genialen Art und Weise, wie beim *Blériot*schen Monoplan die genannte Steuerung im universellen „Glockensteuer“ vereinigt worden ist, wie die unwillkürlichen Bewegungen des Piloten in Steuergriffe übersetzt wurden, die den Apparat nach links führen, wenn sich der Lenker nach links neigt, nach oben steuern, wenn er sich nach hinten überlehnt usw., von der sinnreichen Verteilung des Materiales, die das Ganze in sich selbst so widerstandsfähig und trotzdem so elastisch macht, ist hier zu reden nicht der Ort. So wie wir unseren gedachten Piloten bei abgestelltem Motor im Gleitfluge landen lassen wollen, um seine Luftfahrt zu Ende zu führen, so sei auch die vorliegende Abhandlung mit dem kleinen Ausblick in die Technik abgeschlossen.

---

[1]) *G. Schendel,* Zeitschr. f. Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, II. Heft, 5, 6 und 7 (1911).

Die tierbiologische Bedeutung der Eiszeit.

Von **F. Zschokke,** Basel.

Die Wirkung erdgeschichtlicher Ereignisse auf Tierverteilung und Tierleben abzuschätzen, bildet eine der vornehmsten Aufgaben zoogeographischer Studien. Von allen geologischen Vorgängen aber, die in neuer Zeit den Erdball betrafen, kann sich an Umfang und an erdgestaltender Kraft keiner mit der großen diluvialen Vergletscherung messen. Sie überflutete mit ihren Eismassen ungeheure Erdflächen; die Gletscher bauten Moränenzüge von beträchtlichem Höhen- und Längenmaß auf; sie schürften tiefe Talspalten und Seebecken aus, und ihre Schmelzwasserströme überschütteten das Flachland weithin mit gewaltigen Mengen von Schotter und Geschiebe und zeichneten der Verteilung von Wasser und festem Erdreich neue Linien vor. Zur geologischen Wirkung der Eiszeit gesellt sich der besonders für die aquatile Tier- und Pflanzenwelt wichtige klimatologische Einfluß einer herabgesetzten, in engen Grenzen sich bewegenden Temperatur.

Die Frage liegt nahe genug, in welcher Weise das Leben auf die durch die Vereisung bedingten Veränderungen der Erdgestaltung und des Klimas antwortete. Ihre Entscheidung erscheint um so aussichtsreicher, als die Gletscherzeit ihr Ende noch nicht ganz erreicht hat. Die Eisströme des Nordens und die Miniaturgletscher südlicher gelegener Hochgebirge arbeiten heute, in stark verkleinertem Maßstab allerdings, geologisch und biologisch genau in derselben Weise, wie ihre großen diluvialen Vorgänger, deren kümmerliche Reste sie darstellen. So sieht sich der Forscher in der glücklichen Lage, durch direkte Beobachtung heutiger Verhältnisse auf die mächtig gesteigerte Wirkungsweise der einstigen Vereisung zurückschließen zu können.

Der lohnenden Aufgabe, einen Teil der jüngsten Vergangenheit von Tier- und Pflanzengeschichte zu entschleiern, fehlte es nicht an Bearbeitern. Aus der Fülle der auf zoologischem Gebiet gewonnenen Resultate mögen einige Züge in den folgenden Zeilen zusammengefügt werden. Im Interesse seiner Klarheit bedarf das Bild der Beschränkung. Räumlich wird es kaum über die Grenzen von Mitteleuropa hinausgreifen; nach dem Beobachtungsstoff werden vor allem die niederen tierischen Organismen zum Wort kommen, deren tiergeographische Bedeutung, zum Teil wenigstens, erst die neueste Zeit erkannte.

Es sei in Erinnerung gerufen, daß zurzeit maximaler Vergletscherung das vom Eis bedeckte Skandinavien und Finnland, *Ramsays* Fennoskandien, gewaltige Gletschermassen über das Gebiet der heutigen Ostsee bis in das Herz von Deutschland und Rußland sandte. Damals zog die südliche Grenze des Nordlandeises von der Gegend der Rheinmündung in wellenförmig gebogener Linie durch Mitteldeutschland über Erfurt bis zum Nordhang der Karpathen; sie schickte von Krakau aus eine mächtige Zunge südlich bis zum 48° und stieß im Dongebiet zum zweitenmal nach Süden vor, um weiter in nordnordöstlicher Richtung gegen den Ural und das karische Meer abzubiegen. Großbritannien bis zum Themsetal trug eine zuerst selbständige Gletscherdecke, die erst später mit dem großen Eisgebiet des Nordens verschmolz, und aus der als eisfreie Oasen die Berggipfel von Derbyshire- und die Yorkshiremoore ragten. Zwischen den weit seewärts vorgeschobenen Küsten von England, Norwegen, Dänemark und Deutschland und hin bis zu den starken Gletscherzentren der Faröer und von Island bedeckten dichte Packeismassen den Bereich der Nordsee.

Mit der ungeheuren Dehnung des nordischen Glazialgebietes kann sich der diluviale Gletscherbezirk der Alpen nicht annähernd messen. Für die Schicksale der Lebewelt indessen erhält die alpine Vergletscherung mitbestimmende Bedeutung.

Von den Höhen des Gebirges flossen nach Norden die Eisströme zu Tal, um sich im Vorland zu einem durch Dehnung und Mächtigkeit ausgezeichneten Eismantel zu vereinigen. Südlich blieben dagegen die Eismassen am Fuß der Alpenmauer stehen, ohne die oberitalienische Ebene in einer zusammenhängenden Decke zu überfluten. Auch nach Osten zu nimmt das alpine Glazialphänomen an imposanter Entfaltung ab. Vielleicht förderte in den Westalpen beträchtlichere Höhenlage der Gletscherzentren und bedeutenderer Feuchtigkeitsgehalt der Luft die Firnentwicklung. Wenige Hochgipfel der Alpen und einzelne Kämme des Jura entragten inselgleich dem starren Meer des Inlandseises. Sie boten vielleicht spärlichen Trümmern der präglazialen Tier- und Pflanzenwelt armselige Zufluchtsstätten.

Kleinere Vereisungsherde bildeten die Mittelgebirge Deutschlands und zum Teil Frankreichs. Der Apennin und die Karpathen trugen Eis und in Korsika lassen sich am Monte rotondo Spuren glazialer Tätigkeit erkennen. Die transsylvanischen Alpen, der Kaukasus und die Pyrenäen waren der Schauplatz starker Vereisung und über die Hänge der Sierren Portugals und Spaniens glitten kleinere Gletscher.

Gigantische Zeichen ihrer Arbeit haben die diluvialen Gletscher in Nordamerika hinterlassen, und auch in anderen Erdteilen fehlen die Anzeichen dafür nicht, daß das quartäre Glazialphänomen den ganzen Erdball umspannte.

Die gewaltigen glazialen Geschiebeablagerungen, die tiefen durch Gletschertätigkeit bewirkten Erosionen zwingen den Forscher, für die Dauer der Vergletscherung beträchtliche Zeitspannen anzunehmen. Doch divergieren in dieser Richtung die Abschätzungen um Hunderttausende von

Jahren. Mögen die gewonnenen Zahlen dem Geologen relativ klein erscheinen, dem Biologen genügen sie, um allmählich sich vollziehende Tierwanderungen und langsam fortschreitende Tierumgestaltungen in ihnen sich abspielen und zu weit entlegenen Zielen führen zu lassen.

Räumliche Mächtigkeit in horizontaler und vertikaler Richtung sowie zeitliche Dauer der Vergletscherung bedingen vor allem die gewaltige biologische Kraft der diluvialen Eiszeit. Die Eisströme entrissen für Jahrtausende weite Länderstrecken dem Leben und verwandelten sie in Eiswüsten. Den Organismen brachte die heranrückende Eismasse Untergang, oder wenigstens die Flucht vom heimatlichen Boden.

Geologisch gliedert sich die quartäre Gletscherzeit in Epochen gewaltiger Ausdehnung der Eisströme und in langgedehnte Perioden starken Rückganges. Allgemeiner Vorstoß und Zurückfluten des Eises wechselt im Diluvium mindestens viermal, und jede der Perioden von Wachstum oder Schwinden umspannt den Zeitraum vieler Jahrtausende. So wichtig nun aber auch die säkuläre Flut- und Ebbebewegung der großen Gletscher für die Geologie, für die topographische und hydrographische Gestaltung der Erdrinde wurde, biologisch wohnt ihr nur untergeordnete Bedeutung inne. Wohl hielt in den langen Interglazialzeiten neues blühendes Leben in die vom Eis sich entblößenden Länder Einzug, doch der erneute Vorstoß der Gletscher vernichtete auch wieder die in der Zwischengletscherzeit eingewanderte Organismenwelt zum größten Teil. In ihrer biologischen Wirkung auf die heute lebende Fauna kann die Glazialzeit als ein einheitlich arbeitendes Ereignis aufgefaßt werden. Sie beeinflußte in ihrer Gesamtheit, ihrer ganzen räumlichen und zeitlichen Ausdehnung die ihr unterworfene Fauna in Verteilung, Lebensweise und Bau in bestimmt gegebener Richtung. Die Spuren der glazialen Einwirkung lassen sich in der heute Mitteleuropa bevölkernden Fauna noch mit aller Deutlichkeit erkennen.

Als Ursache der großen Gletschervorstöße und der sich daraus ergebenden allgemeinen Vereisung wird in erster Linie die ziemlich erhebliche Herabsetzung der mittleren Jahrestemperatur um 4—5° C angerufen. Gestützt auf Funde fossiler Quartärpflanzen kommt dagegen besonders *Brockmann-Jerosch* zum Schluß, daß als eigentlicher und erster Grund des ungeheuren Gletscherwachstums die Vermehrung der festen Niederschläge zu betrachten sei. Während der Dauer einer Vergletscherung blieb die durchschnittliche Temperatur der heutigen sehr ähnlich, zur Zeit des Bühlvorstoßes war sie derselben wahrscheinlich sogar gleich. Auch „die Unregelmäßigkeit in der Ausdehnung der verschiedenen Gletscher während des Rückzugs", so schließt *Brockmann* weiter, „macht es wahrscheinlich, daß die Gletschergröße nicht die Funktion eines Faktors war, der auf größere Distanzen gleichmäßig wirkte, sondern eines solchen, der lokal verschieden war, daß man also hier nicht an Temperaturerniedrigung, sondern an feste Niederschläge denken muß". Das Klima der letzten Eiszeit war, nach dem eben genannten Autor, ein extrem ozeanisches, wie etwa heute in Alaska oder Patagonien. Die Temperatur wich nicht wesentlich

von derjenigen der Jetztzeit ab: denn in den glazialen Ablagerungen finden sich die fossilen Reste subalpiner. alpiner. subarktischer und dem heutigen Klima entsprechender Pflanzen und Tiere nebeneinander. Viel massenhafter allerdings fielen die Niederschläge; besonders die Schneemengen machten viel bedeutendere Beträge aus als heute.

Es ist hier nicht der Ort, dem ersten Anstoß der großen Diluvialvergletscherung nachzugehen. zu entscheiden, ob ursprünglich Temperaturerniedrigung oder Vermehrung der festen Niederschläge die Gletscher aus den Gebirgen zu Tal und vom Pol nach Süden fließen ließ. Auch die Frage soll unerörtert bleiben. ob die Zunahme des Schneefalls nicht erst die Folge einer Temperaturherabsetzung war.

Schwer würde indessen die Annahme fallen, daß die ungeheuer ausgedehnten Eisfelder der Quartärzeit. neben denen alles verschwindet. was heute den Erdball an Gletschern bedeckt. durch Verdunstung ihrer Flächen nicht einer auch auf ihre Nachbarschaft sich erstreckenden Herabsetzung der mittleren Jahrestemperatur der Luft riefen. Vollends für das Wasser wird sich tiefere Temperierung als in der Jetztzeit nicht in Abrede stellen lassen. Noch heute bestimmen die Abflüsse der zwerghaft gewordenen Alpengletscher weithin das Temperaturregime von Fluß und See. Wie ganz anders mochte das im Diluvium zutreffen, als den mächtigen Eisstirnen gewaltige Mengen kalten Schmelzwassers entflossen. Gerade die Wasserfauna. das zeigen die hydrobiologischen Forschungen des letzten Jahrzehnts. trägt denn auch mit besonderer Deutlichkeit den biologischen Stempel der Eiszeit zur Schau. Sie ist reich an exklusiv der Kälte angepaßten Elementen.

Brockmann betont, daß bei Schwerzenbach in Glazialtonen, d. h. in den Ablagerungen der Schmelzwässer. alpine. subalpine und polare Pflanzen zugleich mit Arten. die das heutige Klima verlangen. sich fossil finden. Ein ähnliches Gemisch zeigt die dort eingebettete Käferfauna: drei ihrer Arten sind alpin. eine subalpin und neun müssen als Bewohner der Ebene bezeichnet werden. Diese Befunde lassen *Brockmann* wieder auf ein Klima zurückschließen. das in den Temperaturverhältnissen dem heutigen nahestand.

Soweit dieser Schluß auf zoologischen Dokumenten fußt, ist einzuwenden. daß die bei Schwerzenbach im Glazialton gefundenen Flachlandkäfer eurythermen. an recht verschiedene Temperaturen anpassungsfähigen Arten zugehören. die über die Wärmeverhältnisse ihres einstigen Wohnortes keine Auskunft zu geben vermögen. Viel deutlicher sprechen die stenothermen. an bestimmt begrenzte Temperaturen gebundenen Formen. Sie verleihen einer rezenten oder fossilen Mischfauna des Festlandes oder Wassers den thermischen Charakter und deuten auf die Temperaturverhältnisse hin. unter denen die Tiergesellschaft lebt oder einst lebte. In Schwerzenbach sind die Stenothermen alpine und subalpine, tiefere Mitteltemperaturen aufsuchende Arten.

Das eisfreie Mitteleuropa nahm den kleinsten Raum ein während der Rißvergletscherung. nach *Brückner* und *Penck* und den Schweizer

Geologen der vorletzten Phase der großen diluvialen Vereisungszeit. Damals maß der freie Streifen zwischen den Gletscherstirnen des Nordens und den von den Alpen in das ebene Vorland fließenden Eisströmen nur etwa 300 *km* in der Breite. Auf dem schmalen nicht vergletscherten Band das unter dem unmittelbaren Einfluß der gewaltigen, nahen Eismassen lag, drängte sich eine aus verschiedenen präglazialen Elementen gemischte Tiergesellschaft zusammen. Diese Annahme gestatten faunistische, biologische und paläontologische Beobachtungen und die Erwägung, daß die bewegliche Tierwelt vor den langsam, aber stetig anrückenden Eismassen nach Süden und zu Tal fliehen mußte.

Ob innerhalb des vergletscherten Gebietes tierisches Leben mitten in der weiten Eiswüste auf Schuttinseln und dem Gletscher entragenden Berggipfeln, oder in ausgiebiger sich durchwärmenden Schmelzwassertümpeln die Glazialepoche überdauern konnte, bleibt vorläufig eine nicht mit Sicherheit zu beantwortende Frage. Manche Beobachtungen weisen auf die Möglichkeit einer solchen Persistenz des Lebens unter scheinbar ungünstigen äußeren Bedingungen hin. Von den Firnströmen der Alpengletscher ringsumflossene Trümmerbänke und Felsköpfe bilden gewöhnlich die dürftige Heimat einer flügellosen, versteckt lebenden Kleintierwelt von Milben, Springschwänzen, Spinnen und Insekten. Noch jüngst berichtete *Baebler* von ähnlichen Funden in den Ritzen von schneefreien Felsen und unter der schützenden, winterlichen Schneedecke in den Hochalpen von Glarus. In hochgelegenen Gletscherseen, deren Eiskruste auch im Sommer sich kaum löst, fristet eine aus wenigen Gliedern zusammengesetzte Tierwelt ihr Leben. Bekannt sind die Beobachtungen *Vanhöffens*, der in bis auf 15° C sich erwärmenden Tümpeln des grönländischen Inlandseises eine ärmliche Fauna und Flora traf. Faunistische und systematische Studien führten *Brehm* in jüngster Zeit zu der Ansicht, daß die niederen Krebse in Grönland auch während der Eiszeit nicht ausgestorben seien. Die Kontinuität des Lebens wäre in jenem gigantisch vergletscherten Land vom Glazialphänomen nicht unterbrochen worden. Auch die über den grönländischen Eispanzer emporsteigenden Felsklippen, die Nunataker, beherbergen eine dürftige Gesellschaft wirbelloser Tiere.

Alle diese Beobachtungen können zugunsten der Annahme ins Feld geführt werden. Trümmer der präglazialen Tertiärfauna seien imstande gewesen, die große Vergletscherung mitten im Eisgebiet auf weitgetrennten Oasen zu überstehen, und von diesen Inseln aus sei beim Rückzug der Eismassen das Leben nach allen Seiten von neuem ausgestrahlt. Einen sicheren Beweis für die Ansicht von der tausendjährigen Persistenz der Tierwelt auf im Sommer schneefrei werdenden Firninseln und in Gletschertümpeln könnte nur die Paläontologie durch die Überlieferung fossiler Belegstücke geben. Sie schweigt indessen auf in dieser Richtung gestellte Fragen beharrlich. Unter allen Umständen wird man gut tun, bei der Frage nach der Fortexistenz tierischen Lebens mitten im diluvialen Gletschergebiet sich der ungeheuren räumlichen und zeitlichen Erstreckung

der Eiszeit zu erinnern und sich zu hüten, die heutigen Verhältnisse der alpinen Zwerggletscher ohne weiteres auf die riesigen Eisströme der Vorzeit zu übertragen.

Wenn so die Möglichkeit einer Fortdauer des Lebens auf einsamen Firninseln, umflutet vom Eis der Quartärzeit, nicht in Abrede gestellt werden kann, so darf doch die biologische Wichtigkeit der kleinen im Eisgebiet persistierenden Faunasplitter für die postglaziale Wiederbesiedlung des vom Gletschereis sich entblößenden Landes nicht allzu hoch angeschlagen werden. In seiner großen Masse wich das Leben aus dem Gebirge und aus dem Norden. Den Flüchtlingen öffnete sich als Heimstätte für die Zeit maximaler Vergletscherung vor allem der eisfreie Streifen Mitteleuropas. Auf ihm vermengten sich die Reste der schon präglazial das Flachland bewohnenden Tierwelt mit den durch das Eis vom Berg und aus dem Polarkreis vertriebenen Zuwanderern. So entstand eine aus drei Elementen zusammengewürfelte Mischfauna. Alle drei Bestandteile, die ursprünglichen Bewohner der mitteleuropäischen Ebene, wie die Ankömmlinge vom Hochgebirge und aus Norden gehen nach ihrer Herkunft auf die voreiszeitliche Fauna ohne Unterbruch zurück.

Den Tieren standen im Zufluchtsbezirk der eisfreien Zone zwei Wohnstätten offen: das tieftemperierte, in engen thermischen Grenzen sich bewegende Schmelzwasser der Bäche, Gletscherseen und Moore und die Luft, deren Temperatur im Jahreslauf größere Schwankungen erlitt. Im kurzen Eiszeitsommer stieg die Luftwärme wohl auf einen beträchtlichen Grad; der lange Winter brachte tiefen arktischen Fall. Besonders von den Wasserbewohnern verlangte das eisfreie Gebiet ausgesprochene Kälteliebe. Stenotherm an niedrige Wärmegrade angepaßte Tiere mußten gedeihen; anpassungsfähige Geschöpfe konnten im Laufe der Zeit stenothermen Charakter annehmen. Aber auch eurytherme Lebewesen, die ausgiebige Temperaturschwankungen im Sinne starker Wärmeherabsetzung nicht scheuten, konnten der Unbill der Glazialzeit auf dem eisfreien Landstrich erfolgreich trotzen. An höhere Temperaturen gebundene Organismen dagegen mußten fliehen oder untergehen.

Auch zur Zeit der gewaltigsten Vereisung scheinen sich die drei Elemente der Mischfauna nicht vollständig und gleichmäßig durchdrungen zu haben. Streng hochalpine Tiere verließen den Rand der zu Tal gestiegenen Hochgebirgsgletscher nicht und manche rein arktische Organismen entfernten sich nicht weit vom Südsaum des Nordlandeises.

Dieses Verhältnis klingt heute noch in paläontologischen und faunistischen Befunden nach. Der hochnordische Phyllopode *Lepidurus arcticus* lebte, wie seine fossilen Reste zeigen, am Südrand des skandinavischen Inlandseises. Doch erreichte er weder die Karpathen, noch die Alpen; er fehlt der Fauna dieser Gebirge. Südlicher drang die verwandte, ebenfalls hocharktische *Branchinecta paludosa* vor. Sie belebt noch heute die kalten Gewässer der Hohen Tatra, doch gelang es ihr nicht, die Schranke des eisfreien Gebietes zu überwinden und in die Alpen Einzug zu halten. Die

dem polaren Eisgebiet nahe liegenden Karpathen zeigen überhaupt zur nordischen Tierwelt viel engere faunistische Beziehungen, als die von Fennoskandien weiter entfernten Alpen. Das gilt sowohl für die Fauna des Wassers, als, wie gezeigt werden soll, für die Bevölkerung des Festlandes.

Eine Analyse der glazialen Mischfauna Europas und ihrer heute noch lebenden Überreste begegnet den größten Schwierigkeiten. Lücken der Tiergeographie, Abwesenheit von Versteinerungen, unvollständige Kenntnis der Lebensweise lassen gar oft den Versuch aussichtslos erscheinen zu bestimmen, ob ein Bestandteil der durch die Gletscher zusammengetriebenen Tierwelt präglazial dem Norden, dem Gebirge oder dem zentraleuropäischen Flachland angehörte. Zurückhaltende Vorsicht hat das erste Wort zu führen, wenn es gilt, den durch die Eiszeit verursachten Tierwanderungen nachzugehen.

Gestützt auf die heutige Tierverbreitung habe ich in der Abhandlung über die Tiefenfauna der Seen Mitteleuropas die Vermutung ausgesprochen, daß als präglaziale Nordländer diejenigen Wassertiere angesehen werden müßten, welche nach dem Rückzug der Gletscher Ebenenbewohner blieben, den Aufstieg in die Alpen nicht unternahmen, wohl aber dem Eis nach der Arktis folgten. Umgekehrt mögen vor der Glazialzeit rein alpin diejenigen Überreste der einstigen Bewohnerschaft des eisfreien Streifens gewesen sein, die heute wieder ausschließlich in den Alpen vorkommen, nicht aber boreal oder arktisch leben. Formen, die die Seetiefen des nördlichen und südlichen Alpenrandes zugleich bewohnen, im Norden Europas aber fehlen, dürfen nach meiner Ansicht ebenfalls als Bestandteile der präglazialen Alpenfauna betrachtet werden. Sie stiegen vor den Gletschern an den Nord- und Südrand des großen Gebirges hinab und sanken später als kälteliebende Trümmer der Schmelzwasserfauna in die Tiefen der nördlichen und südlichen Randseen.

In neuester Zeit hat die von mir ausgesprochene Ansicht mancherlei Stützen gefunden. Ein Schüler der Basler zoologischen Anstalt, *W. Fehlmann,* zeigte, daß auf dem tiefen Grund des Luganersees wohl typische Kältetiere der Hochalpen, nicht aber solche des arktischen Nordens, wie sie in der Tiefe der nördlichen Alpenfußseen häufig sind, vorkommen. Vor dem Alpenwall hätte also der Weitermarsch borealer Elemente der glazialen Mischfauna Halt gemacht.

Auch nach *Langhans'* gründlichen Crustaceenstudien dürfen wir nicht annehmen, daß nordische Tiere im Anschluß an die Eiszeit die Kämme der Alpen überstiegen. An der gewaltigen Mauer scheiterte die dem Norden entstammende Tierwelle.

Zu ähnlichen Schlüssen über den Ursprung der einzelnen Komponenten der glazialen Mischfauna gelangte jüngst auf selbständigem Wege *Brehm.* Seine Ausführungen lassen sich dahin zusammenfassen, daß in der Jetztzeit im Norden und am Nordhang der Alpen verbreitete Tiere mit den fennoskandischen Gletschern nach Mitteleuropa zogen. Die heutige Verbreitung der Art an beiden Alpenhängen und zugleich etwa auch noch im

Norden weist dagegen auf eine präglazial alpine Heimat hin. Für passiv verschleppbare Formen der Wasserfauna bleibt der voreiszeitliche Ursprung unbestimmt.

Oft drängt sich aus tiergeographischen und biologischen Gründen der Eindruck auf, daß besonders große Bruchteile der während der Eiszeit in Mitteleuropa sich mischenden Fauna aus dem hohen Norden herbeizogen. Lebensart und Morphologie niederer Krebse ließen *Sven Ekman* den Beweis erbringen, daß die zentraleuropäischen Gebirge im Anschluß an die Eiszeit vom Norden viel mehr faunistischen Zuschuß erhielten, als an denselben abgaben.

Wenn so eine nordische Tierflut vor dem fennoskandischen Inlandseis nach Mitteleuropa strömte und für die postglaziale Zusammensetzung der zentraleuropäischen Fauna wichtig wurde, so darf doch die Rolle nicht unterschätzt werden, welche alpine Zuwanderer in der eiszeitlichen Tierwelt des Tieflandes und später beim Gletscherrückzug auch für den Norden spielten. Ein überreiches und in jedem Einzelfall kritisch geprüftes Material läßt *Born* als präglazialen Entwicklungsherd der flügellosen Laufkäfer vor allem die Alpen betrachten. Im zentraleuropäischen Hochgebirge leben heute noch die alten Formen, im Norden die jüngeren. Vor dem Eis wichen die Carabiden von den Alpenhöhen in die Ebene; postglazial stiegen sie von neuem in das Gebirge empor und wanderten als fremde Eindringlinge nach dem borealen Gebiet.

Zu ähnlichen Schlüssen gelangt *Bollinger* durch die Betrachtung der mitteleuropäischen Schneckenfauna. Die über die kaum angedeutete Schwelle zwischen Tertiär und Quartär sich bewegende Gastropodenwelt erhielt in den Gebirgen Zentraleuropas Neubelebung und Bereicherung. Besonders die Alpen stellen wohl seit der Epoche ihrer Auftürmung ein selbständiges Entwicklungszentrum für Mollusken dar. Die Eiszeit wirkte hemmend für das weitere Aufblühen der Schnecken, doch vermochte sie den reichen Stamm nicht zu brechen. Sogar in die einst so stark vereisten Westalpen muß der Ursprung gewisser noch heute lebender Schneckenarten, wie *Tachea sylvatica* und *Fruticicola coelata*, verlegt werden. Mit den Gletschern stieg auch die reiche alpine Molluskenschöpfung zu Tal. Manche Formen haben postglazial ihre alte Heimat wieder besetzt; sie charakterisieren heute von neuem in hohem Grade das Hochgebirge oder seine alpine Teilzone. Andere dagegen verließen in verschiedenem Umfange die ursprüngliche Alpenheimat, ähnlich wie die Carabiden. Sie stiegen in die Vorgebirge empor und bilden nun einen wesentlichen Bestandteil der die zentraleuropäischen Berggegenden besetzenden Schneckenwelt. Manche gedeihen noch einmal üppig in Skandinavien und im Norden Rußlands. Oft schiebt sich das Tiefland zwischen den alpinen und borealen Wohnbezirk als trennende Schranke ein; manchmal stehen aber auch im flachen Mitteleuropa vereinzelte Posten von Schneckenarten, die die Verbindungen zwischen den Hauptmengen im südlichen Gebirge und im fennoskandischen Norden augenfällig aufrecht erhalten.

Vertreibung aus den ursprünglichen alpinen Standorten. Verschiebung der Verbreitungsbezirke brachte die Eiszeit den Laufkäfern, wie den Schnecken. In den Vergletscherungszentren, vor allem den Alpen und Karpathen, entstanden durch langsames Hin- und Herwandern im Laufe der Jahrtausende, durch Ausrottung an manchen Lokalitäten und durch Besiedlung anderer Örtlichkeiten die oft schwer zu entwirrenden Wohngebiete der nicht fliegenden, klimatologischen und geologischen Einflüssen in hohem Grade preisgegebenen Geschöpfe. Wirkte so die Glazialepoche in ausgiebigster Weise verschiebend und vermischend, so schuf sie, wenigstens auf dem Festland, nur in beschränkterem Umfange morphologisch wirklich Neues.

Aus den angeführten Beispielen ergab sich, daß von den Alpengletschern getrieben ein breiter und tiefer Strom tierischen Lebens sich in das Flachland ergoß und von dort nach Ablauf der Gletscherperiode zum Teil wieder zur alpinen Quelle zurückkehrte, zum Teil durch Hunderte von Rinnen und Kanälen den Weg nach Norden fand.

Den Umfang und die Bedeutung der alpinen Tierbewegung überschätzt indessen *Lapouge*. Er möchte annehmen, daß eine Einwanderung von flügellosen Festlandbewohnern des Nordens in den eisfreien Gürtel Mitteleuropas unmöglich gewesen sei. Die von den arktischen Eismassen südwärts gedrängten nicht fliegenden Organismen hätten ihren Untergang ausnahmslos in der Ostsee und im finnischen Busen gefunden. Die Mischfauna Zentraleuropas wäre, mindestens in ihrem des Fluges unkundigen Teil, nur aus präglazialen Bewohnern der zentraleuropäischen Ebenen und Gebirge zusammengesetzt gewesen. Diese ursprünglich südliche Fauna wurde auch zum Ausgangspunkt der postglazial den Norden wiederbesiedelnden Tierwelt.

Mit dieser Auffassung stimmt die Beobachtung nicht, daß in Zentraleuropa da und dort größere oder kleinere Reliktenkolonien unzweifelhaft echt nordischer flügelloser Tiere leben. Es zählen zu diesen von der borealen Heimat losgelösten Beständen Vertreter verschiedenster Tiergruppen, Springschwänze und Tausendfüßer, mancherlei Insekten, Wirbeltiere und Spinnen. Ihren Vorfahren standen am Beginn der Eiszeit sichere Landbrücken zur Flucht aus Skandinavien nach Zentraleuropa zur Verfügung. Das nordische Festland besaß eine maximale Ausdehnung; weit seewärts erstreckten sich die atlantischen Küsten; Großbritannien stand mit dem Kontinent in fester Verbindung, und über die Ostsee führten breite, trockene Streifen. So konnte nordisches Leben sich nach dem eisfreien Mitteleuropa retten und der dort sich mischenden Fauna arktischen Zuwachs bringen.

Die auffallende faunistische Ähnlichkeit zwischen dem Norden und den Alpen möchte *Scharff* nicht durch glazialen Tieraustausch, vermittelt durch eine den eisfreien Landstrich Zentraleuropas bevölkernde Mischfauna, erklären. Die alpine Tierwelt bildete sich nach dem genannten Autor unabhängig von der skandinavischen Fauna. Beide entstammen in ihren gemeinsamen Formen dem Innern Asiens und zogen in präglazialer Zeit von

dem beiden zukommenden asiatischen Entwicklungszentrum auf sich trennenden Straßen nach dem europäischen Norden und nach den Alpen. Im Hochgebirge mischten sich die Einwanderer aus Asien mit lusitanischen und südlichen Faunenelementen.

Scharffs Hypothese mag zu Recht bestehen bleiben. Sie hindert nicht die Annahme einer während der Eiszeit stattfindenden Faunenmischung und eines sich postglazial anschließenden Tieraustausches zwischen Nord und Süd. Zahlreiche Erscheinungen heutiger spezieller Tierverbreitung und eine lange Reihe biologischer Beobachtungen finden ihre einfachste und beste Erklärung durch die Forderung enger faunistischer Wechselbeziehungen zwischen den Alpen und Fennoskandien während der Gletscherzeit. Gestützt auf tiergeographische und biologische Befunde lassen sich die Wanderungen von Norden nach Süden und in umgekehrter Richtung anschaulich machen, die manche Tierarten im Anschluß an das Vorstoßen und Rückfluten der diluvialen Eismassen ausführten.

Als nach mancher sekundären Schwankung die Gletscher endgültig nach dem Pol und nach den Kämmen der Gebirge zurückwichen, kam auch für die zwischen den Eisfronten zusammengedrängte Mischfauna die Stunde der Ausdehnung und der Wanderung. Stenotherme Kältetiere und eurytherme, allen Temperaturschwankungen gewachsene Kosmopoliten eroberten das Schritt um Schritt eisfrei werdende Festland und Wasser. Sie erkletterten, soweit sie dazu befähigt waren, die Gebirge und zogen mit der weichenden Eismauer nach Norden. Skandinavien erhielt ursprünglich alpine Bestandteile der Mischfauna und gab dem Hochgebirge dafür anfänglich nordische Tiere ab.

Die glazialen Wanderungen klingen in der heutigen Tierwelt Mitteleuropas in Verbreitung, Vorkommen und Lebensweise zahlreicher Arten nach. Viele Bewohner des festen Erdbodens und des flüssigen Elements tragen tiergeographisch, biologisch und etwa auch morphologisch den Stempel der überstandenen Eiszeit zur Schau. Ihre direkten Vorfahren gehörten der glazialen Mischfauna an. Diesen Trümmern der einst auf dem nichtvergletscherten Gebiet sich bunt zusammenmengenden Lebewelt lege ich den Titel von „Glazialrelikten“ bei, unbekümmert darum, ob die fraglichen Lebewesen ursprünglich im Norden, im Hochgebirge oder in der Ebene Zentraleuropas zu Hause waren, und ob sie heute ihr Leben nur in tieftemperierten, arktischen Medien weiterfristen, oder ob sie sekundär höhere Wärmegrade von Festland und Wasser ertragen. „Glazialrelikte sind diejenigen Tiere, für die geographische, biologische und oft auch morphologische Erwägungen es wahrscheinlich machen, daß ihre Vorfahren der eiszeitlichen Mischfauna angehörten. Sie sind Überreste dieser Fauna.“ Sie stehen in Gegensatz zu den Organismen, die postglazial unter der Herrschaft eines milder werdenden Klimas von verschiedenen Seiten her Zentraleuropa überfluteten und auch das früher von Eis bedeckte Gebiet besiedelten. Zwei Kriterien vor allem müssen die Trümmer der Eiszeitfauna gerecht werden, dem geographischen und dem biologischen Erfor-

dernis. Die Glazialrelikte bevölkern Gebiete, die während der Quartärzeit vergletschert waren oder unter dem klimatologischen und hydrographischen Einfluß der großen Vergletscherung standen, und ihr Vorkommen und ihre Lebensweise wird bedingt durch die Vorliebe für tiefe Temperaturen. Nur selten, am häufigsten im Stamm der Wirbeltiere und Mollusken, erlauben Versteinerungsfunde den unzweideutigen Schluß, daß gewisse Organismen zur Glazialzeit im eisfreien Mitteleuropa zu Hause waren. Sonst müssen Tiergeographie und Biologie für den glazialrelikten Charakter der Lebewesen zeugen und das Dunkel erleuchten, das die Paläontologie unerhellt läßt. Vorsichtige Erwägung aller Seiten der Frage hat in jedem Einzelfall das entscheidende Wort zu sprechen: denn allzu freigebig und übereilt ist von dem Titel „Relikte der Eiszeit" Gebrauch gemacht worden.

Als wichtiger Fingerzeig für den glazialen Ursprung gilt die Verbreitung eines Tieres im arktischen Norden und zugleich auf den Hochgebirgen Mitteleuropas, sowie in einzelnen abgesprengten kleinen Beständen an Wohnorten des Zwischengebietes, die klimatisch an die Arktis erinnern. Dieser Hinweis auf Beeinflussung der geographischen Verbreitung durch das Glazial und Postglazial findet nicht selten Bestätigung biologischer und morphologischer Art. Die südlichen Kolonien und Bestände unterscheiden sich oft in der Lebensweise, besonders in der Fortpflanzungsart und in Gestalt und Bau wesentlich von den nordischen Stammesgenossen, und die Differenzen zwischen Norden und Süden lassen sich für die südlichen Kolonien als eine Folge der sekundären Anpassung an weniger streng glaziale Bedingungen deuten. Als solche Anpassungserscheinungen mögen gelten die Verlegung der Laichzeit in mitteleuropäischen, höher temperierten Gewässern vom Sommer auf den Winter, die Abnahme der Körpergröße bei den südlichen Beständen und die Erscheinung der im wärmeren Wasser schärfer ausgeprägten jahreszeitlichen Körperumformung. Bei dieser in der Arktis und in den Hochalpen kaum ausgeprägten Cyclomorphose zeigt sich, daß die Winterformen des Südens der konstanten nordischen oder hochalpinen Urform morphologisch am nächsten stehen.

Mit vollem Recht warnt *Wesenberg-Lund* in seinem groß angelegten Planktonwerk davor, von der Bezeichnung „Glazialrelikt" allzu raschen und ausgiebigen Gebrauch zu machen. „Es genügt nicht", so schreibt er, „daß die in Betracht kommenden Formen kalte Orte bevorzugen. Es müssen außerdem in ihrer Biologie Züge sich aufweisen lassen, die auf das Leben unter arktischem Einfluß hindeuten." Für die Erkennung der Reliktennatur der im Wasser freischwebenden Organismen, der Planktonten, fordert *Wesenberg-Lund:* „If we find species which exhibit a special predilection for low temperatures in southern localities (deep lakes, cold springs etc.), if the species is proved to undergo considerable variations, all nevertheless falling back in winter to one and the same forme which is nearest related to the present arctic one, if further the present distribution decidedly points towards a northern centre and the occurrence of the species cannot be understood through migration and if the period of reproduc-

tion occurs in winter, then the species concerned may be considered as a „relict“ from the Glacial Age.“

Was der dänische Forscher über die Erkennung faunistischer Eiszeittrümmer im Süßwasserplankton sagt, gilt mit den entsprechenden Veränderungen auch bei der kritischen Prüfung des eiszeitlichen Charakters anderer Lebewesen von Wasser und Festland. Erst wenn verschiedene Wege zu demselben Ziel, demselben Ergebnis führen, erhebt sich die Wahrscheinlichkeit der einstigen Zugehörigkeit einer Tierart zur nordisch-alpinen Mischfauna über jeden Zweifel.

Die Trümmer der Eiszeitfauna leben auf dem Festland wie im Wasser weiter. Doch öffnen sich besonders im thermisch viel mehr als die Luft ausgeglichenen Wasser den relikten Eiszeittieren mancherlei und verschiedenartige Zufluchtsstätten, denen nur das eine Merkmal der stets tiefen, in engen Grenzen sich bewegenden Temperatur gemeinsam ist. Gletscherseen des Hochgebirges, stets eisige Quellen und Brunnen, unterirdische Gewässer, Rinnsale im tiefen Waldschatten, aber auch brausende Bergbäche und die großen Tiefen von Seen zählen zu den Gewässern, in denen Eiszeittiere vor der steigenden Wärme der Nachgletscherzeit Schutz und Rettung fanden. Manche Moorsümpfe endlich, die auf altem Gletscherboden liegen, nahmen die Flüchtlinge aus der Eiszeit auf.

Kaum ein Tier aber dokumentiert sich nach geographischer Verbreitung, ausschließlichem Vorkommen im stets kalten Wasser und nach der Art der Vermehrung deutlicher als Glazialrelikt, als ein kleiner, auf der Unterseite der Steine lebender, grauschwarzer Strudelwurm, die Alpenplanarie, *Planaria alpina*. Sie bewohnt nur Wasser, dessen Temperatur 14° C nicht übersteigt, doch liegt das Optimum ihres besten Gedeihens und ihrer ausgiebigsten Fortpflanzung bei einem weit tieferen Temperaturstand. Daraus ergibt sich Lage und Umfang des Wohnbezirkes der Alpenplanarie. Sie herrscht unbestritten im Kaltwasser des ganzen, weiten Alpensystems bis zur Höhengrenze, die das Wasser nicht mehr flüssig werden läßt. Auch in den Bächen und stets kühlen Seen der Tatra und der Pyrenäen ist *Planaria alpina* zu Hause. Ihre weit auseinandergesprengten Kolonien stehen in den obersten, kalten Quelläufen der zentraleuropäischen Mittelgebirge. Oft messen diese Refugien nur noch wenige Meter im Umfang; eine geringfügige Temperatursteigerung, die Axt, welche den Wald ausrodet und den Sonnenstrahlen Zutritt zur kühlen, beschatteten Quelle bahnt, bringt den in letzte Zufluchtswinkel gedrängten Planarien sicheren Untergang. Die Tiere leben wie Verbannte, denen sich kein rettender Ausweg öffnet, in den Sackgassen der Mittelgebirgsbäche. Sie fanden auch ein engumschränktes Asyl in den gleichmäßig kühlen Höhlengewässern und in der großen kalten Tiefe subalpiner Wasserbecken, wie des Genfersees und hochalpiner Seen. Sehr selten und nur in dauernd eisigen Quellen lebt *Planaria alpina* im mitteleuropäischen Flachland. Dagegen fand sie eine zweite, weit sich erstreckende Heimat im borealen Gebiet und bis hinein in die Arktis. Irland, Schottland, Rügen, Dänemark und Skan-

dinavien bis zu seinem arktischen Hochgebirge, das schwedische und finnische Lappland fallen in den nordischen Wohnbezirk. Endlich erzeugte die Planarie in den südlichen Gebirgsgegenden Montenegros, Bulgariens und Italiens in eigentümlicher Weise vom Typus abweichende Nebenformen.

Das ausschließliche Vorkommen im Kaltwasser der verschiedensten Art, die Verbreitungs- und Häufigkeitszentren im hohen Norden und in den südlichen Hochgebirgen, das Auftreten abgesprengter kleiner Kolonien im weiten Zwischenraum zwischen Nord und Süd kennzeichnen die Alpenplanarie als Glazialrelikt, das während der großen Vergletscherung und der unmittelbaren Nachgletscherzeit wohl auch das eisfreie Flachland in zusammenhängendem Bestand bevölkerte. Dem glazial-stenothermen Tier brachte die der Eiszeit folgende Temperaturerhöhung Rückzug nach Norden und in die Gebirge und Verbannung in oft durch weite Zwischenräume getrennte kaltbleibende Refugien. Noch heute sind die postglazialen Wanderungen der Planarie nicht zum Stillstand gekommen. Es handelt sich an manchen Orten um einen offenkundigen Rückzug vor der steigenden Wassertemperatur, und dem fliehenden Tier drängen in den wärmer werdenden Bachstrecken weniger stenotherme Strudelwürmer nach, zuerst die ebenfalls noch kälteliebende *Polycelis cornuta* und dann der Kosmopolit des Warmwassers *Planaria gonocephala*.

An anderen Stellen dagegen scheint *Planaria alpina* erobernd vorzudringen. So soll sie, nach *Thienemann*, in Rügen zugleich mit anderen subterranen Tieren in neuerer Zeit die Höhlengewässer verlassen und wieder die oberirdischen Bäche, ihre unmittelbar postglazialen Wohnsitze, besiedeln. Diese Rückwanderung aus dem Refugium der Höhle an das Tageslicht bringt der genannte Forscher in Beziehung mit einem in der Jetztzeit gegenüber der vorhergehenden Litorinaperiode eintretenden Temperaturfall.

Bei der heutigen Verbreitung von *Planaria alpina* läßt sich die übrigens ziemlich müßige Frage nicht mehr entscheiden, ob der Wurm präglazial dem Norden oder den Alpen, oder endlich beiden Wohnbezirken gleichzeitig angehörte.

Auch die Fortpflanzungsbiologie der alpinborealen Planarie reiht das Tier in die Gruppe der Glazialrelikte ein. In den Gewässern der Hochalpen und in den konstant kältesten Quellen des Mittelgebirges pflanzt sich der Wurm jahrein jahraus rein geschlechtlich durch Eier fort. Er hat im arktisch temperierten Medium die normale, während der Eiszeit wohl auch für die Ebene geltende Vermehrungsweise beibehalten. In den exponierten Refugien sich stärker erwärmender Bäche des Flachlandes und niederer Höhenzüge dagegen erreicht das Tier die Geschlechtsreife höchstens noch in den kältesten Monaten des Jahres. Es ist an diesen halb verlorenen Posten zum Winterlaicher geworden. An die Stelle der normalen geschlechtlichen Vermehrung setzt die steigende Wasserwärme die anormale Fortpflanzung durch Querteilung. Sie führt zu Degeneration und Erschöpfung und in letzter Linie zum Untergang der Alpenplanarie in den wärmeren Rinnsalen. So geht *Planaria alpina* an vielen Orten dem

Aussterben entgegen, weil ihr die Fähigkeit fehlt, ihre Fortpflanzung den postglazialen thermischen Verhältnissen genügend anzupassen.

An anderen Orten erwies sie sich wenigstens als morphologisch schmiegsam. Die Nachgletscherzeit, welche die heimatlichen Bäche der alpinen Planarie ausgiebiger durchwärmte, ward zur Schöpferin aberranter Planarienformen, denen die Systematiker den Wert eigener Arten zuerkennen.

In den Berggegenden von Bulgarien und Montenegro, sowie in den süditalienischen Abruzzen leben Formen von *Planaria alpina*, die das eigentümliche, pathologisch anmutende Merkmal der Polypharyngie besitzen. Jedes Individuum weist statt eines Schlunds dieses Organ in der Mehrzahl auf.

Steinmann nimmt an, daß die so weit nach Süden vorgeschobenen Planarienkolonien ursprünglich von dem alpinen Strudelwurm abstammen. Die Temperatursteigerung des Postglazials riß ihre Wohnorte vom großen geschlossenen Verbreitungsgebiet der *Planaria alpina* los und schuf so, das faunistische Band durch Vernichtung der Bindebrücke zerstörend, die isolierten südlichen Bestände. Sie verloren im wärmeren Wohnwasser die Fähigkeit sexueller Vermehrung und antworteten auf die ungünstigen äußeren Verhältnisse durch eine gewöhnlich nicht vollständig zu Ende geführte, nur den Schlundrüssel umfassende Querteilung. Die erblich festgelegte Tendenz, auf die das Leben schädigende Temperatureinwirkung mit unvollständiger Teilung zu reagieren, führte bei den am äußersten Südsaum der Artverbreitung lebenden Alpinakolonien zur Bildung vielrüßliger Lokalrassen. Klimatische Ereignisse bedingten die Entstehung geographisch eng umschriebener Abnormitäten. Die heutige Verbreitung und Lebensweise, die Fortpflanzungsgeschichte und die Tendenz zur Bildung gestaltlich charakterisierter Zerfallskolonien im Süden zeugen für den glazialrelikten Charakter von *Planaria alpina*. In dem Tier spiegelt sich geographisch, biologisch und morphologisch die Geschichte der Eiszeit und des wärmeren Postglazials wieder.

Mit *Planaria alpina* teilen den Aufenthalt in abgelegensten Schlupfwinkeln und Sackgassen zahlreiche und verschiedenartige Kaltwassertiere. Auch ihre Geographie und Biologie reiht sie mehr oder weniger endgültig in die Gruppe der zersplitterten Überreste einer Schmelzwasserfauna ein.

Der schäumende, stets tieftemperierte Bergbach, der durch die Schluchten der Mittelgebirge zu Tal eilt, oder stäubend über die Felssätze der Hochalpen fällt, die kühle im tiefen Waldschatten sprudelnde Quelle, der über moosbedeckte Steinwände sickernde Wasserfaden öffnen sich einer kälteliebenden Tierwelt als erwünschte Zufluchtsstätten. Im kalten, wellenbewegten Bach erhielt sich der glaziale Charakter der Tierwelt besonders rein. Das starkfließende Wasser mit seinen speziellen Bedingungen verbot der großen Menge von Kosmopoliten und Ubiquisten den Zutritt, dagegen fanden in ihm Eiszeittiere, die dem Wasserschwall durch biologische und morphologische Mittel zu trotzen vermögen, gute Unterkunft. In den Ge-

birgsbächen mag ein Teil der präglazialen Fauna die Eiszeit an Ort und Stelle überdauert haben, und diese torrentikole Fauna erhielt starken Zuzug, als die steigende Temperatur die Kältetiere aus dem ruhenden und fließenden Wasser des Flachlandes fliehen ließ. So steht *Steinmann* nicht an, den Satz auszusprechen, daß alle echten Gebirgsbachtiere, die der Ebene heute fehlen, als Glazialrelikte zu deuten seien. Das hindert natürlich nicht, daß ein Teil dieser Eiszeittrümmer auch während der großen Vergletscherung die Bergbäche nicht verließ, wie *Holdhaus* es annimmt, und noch weniger, daß die Bachfauna der Alpen und Karpathen sich aus präglazialen Elementen zusammenfügt. Doch dürfte die umfangreiche Vergletscherung einen allgemeinen vertikalen Abstieg auch der Wildbachfauna auf das Niveau der weitvorgeschobenen Eisränder verursacht haben, und postglazial drangen wohl Bestandteile der Mischfauna aus dem fließenden Wasser des Flachlandes in das Refugium der Bergbäche ein. Auch die torrentikole Tierwelt vermochte sich also der glazialen Faunenmengung und vielleicht sogar dem Austausch zwischen Norden und südlichem Hochgebirge nicht ganz zu entziehen. Leider beschränken sich die Kenntnisse über die Bergbachfauna Skandinaviens auf wenige Notizen, doch liegen bereits Andeutungen vor, daß typische Bewohner der bewegten Bäche mitteleuropäischer Gebirge auch in den rauschenden Wasseradern der gebirgigen Teile von Schweden und Norwegen leben.

Einen besonders wichtigen Bestandteil der Tierwelt der Sturzbäche machen nach Zahl der Arten und nach Stärke der eiszeitlichen Reminiszenzen zahlreiche Gattungen kleiner Wassermilben aus. Sie halten sich im Moosgewirr, das die überfluteten oder von der weißen Gischt bespritzten Steine mit grünen Polstern überkleidet. Einige dieser Milben bevölkern zugleich weitentlegene Kaltwasserverstecke, den arktischen Norden, den eisigen Alpensee, den Gebirgsbach und die kühle Quelle des Flachlandes. Solche stets tieftemperierte Quellen der Ebene nehmen sich aus, wie kleinste Fauneninseln stenothermer Kältetiere mitten im weiten Meer einer Warmwassertierwelt. In den kaum nach Quadratmetern messenden Becken stehen, wie auf verlorenem Posten, Milben und Wurzelfüßer des skandinavischen Nordens, der Hochalpenseen und der großen Tiefen der Alpenrandbecken. Die kalten Quellen bilden ihre letzten Rückzugsstationen, die ihnen eine geringfügige Temperaturerhöhung entreißen kann. Flucht vor der zunehmenden Wärme trieb die Tiere in den abgelegenen, engumschränkten Wohnort, passive Übertragung scheint für sie ausgeschlossen.

Ähnlich fristen in versteckten Waldquellen kleine Schnecken des Kaltwassers, die Bythinellen, ein verborgenes Dasein, ohne daß daran gedacht werden könnte, daß sie ihre isolierten Wohnsitze in den dunkelfeuchten Schluchten anders als auf aktivem Rückzug durch sich allmählich erwärmende Rinnsale und Wasseradern erreichten. In den einzelnen Bergquellen gehen die voneinander abgeschnittenen Gesellschaften der Bythinellen die Wege der Varietätenbildung. Ihre Gewohnheit winterlicher Laichablage verleiht den kleinen Schnecken vollends den Anstrich von Überresten einer glazialen Tierwelt.

Bach und Quelle bildet die Straße zum stets gleichmäßig kühlen unterirdischen Gewässer der Höhle und Erdspalte. Den Weg unter die Erde scheinen im Anschluß an die Eiszeit und auf der Flucht vor der Wärmesteigerung nicht wenige Komponenten der Schmelzwasserfauna eingeschlagen zu haben. In Zusammensetzung und Ausstreuung zeigt die Bevölkerung der Höhlengewässer die größte Ähnlichkeit mit der Tiergesellschaft, welche andere Refugien der eiszeitlichen Organismenwelt belebt. Noch jüngst erlaubten ausgedehnte Studien systematischer und faunistischer Art an subterranen Copepoden *E. Graeter* den Schluß, daß der Hauptfaktor, der die Besiedlung des unterirdischen Gebietes veranlaßt, die niedrige Temperatur der Höhlengewässer sei. Erst die Herabsetzung der Wärme soll in neuester Zeit gewissen cavicolen Tieren, nach *Thienemanns* Meinung, wenigstens in der kühleren Jahreszeit erlauben, in kalte oberirdische Quellen und Bäche zurückzuwandern. Es fehlt aber auch nicht an Autoren, welche gewisse Höhlentiere als Flüchtlinge nicht vor der Wärme des Postglazials, sondern vor der Kälte des Glazials betrachten möchten. So deutet *Geyer* das Vorkommen der Lartetien oder Vitrellen in den Höhlen der schwäbischen Jura- und Muschelkalkformation. Diese kleinen, den Hydrobien des Brackwassers verwandten Schnecken bewohnen die Spaltengewässer des Gebirges, soweit dasselbe gletscherfrei war und nicht vom eisigen Schmelzwasser durchströmt wurde. Die dem Gletscherphänomen entrückten Höhlen, in denen die Temperatur nicht allzu tief fiel, boten den Vitrellen kümmerlichen Schutz. Der Einfluß der lichtlosen und nahrungsarmen Zufluchtsstätte im bewegten Wasser spricht sich in der Morphologie der Schnecken, in ihrer Augen- und Farblosigkeit und in der Schalenbildung aus.

Kälte- und Wärmeflucht, beide in letzter Linie bedingt durch die Eiszeit, ließen im Diluvium tierisches Leben in die Dunkelgewässer des Erdinnern Einzug halten.

Keine Lokalität des Erdballs bietet eine gleichmäßiger tief eingestellte Temperatur, als der Abgrund der Seen; kein Ort mag geeigneter erscheinen, eine stenotherme Kältefauna des Süßwassers aufzunehmen. Doch muß diese Tierwelt imstande sein, scheinbar das Leben vernichtende Bedingungen, Dunkelheit, schweren Wasserdruck, die Abwesenheit grüner Pflanzen und eines soliden Untergrundes, ungestraft zu ertragen. So schränkt sich durch eine strenge Auslese der Kreis der Tiefentiere stark ein.

Unter den Übrigbleibenden finden sich wieder zwei faunistische Elemente zusammen. Die Grundmasse der subalpinen Tiefenfauna bilden weitverbreitete und anpassungsfähige Weltbürger, die auch heute noch den Ufersaum der Alpenrandseen in buntem Gewimmel beleben. Ihr Wohnbezirk dehnt sich über Teich, Tümpel und Sumpf von ganz Europa bis gegen den Pol und hinauf bis zur Schneegrenze des Hochgebirges. Von der sonnigen Litoralzone sinken diese Kosmopoliten aktiv wandernd und passiv fallend in die großen dunkeln Tiefen. So erhält die Tiefsee ununterbrochen tierischen Zuschuß vom seichten Gestade aus.

In diese überall vorkommende faunistische Grundmasse aber streut sich in reicher Entfaltung ein zweites Element von weit größerem tiergeographischem und tiergeschichtlichem Interesse ein. Es setzt sich zusammen aus Arten, die das Warmwasser meiden und sich stenotherm an gleichmäßig tiefe Temperaturen binden. Diese Tiere fehlen dem Ufergürtel und den flachen Kleingewässern der mitteleuropäischen Ebene fast ganz, nur einzelne von ihnen treten als seltene und weithin vereinzelte Gäste an solchen sich erwärmenden Lokalitäten auf.

Dafür bevölkern die Stenothermen der subalpinen Tiefsee weitentlegene und verschiedenartige Wohnorte von bleibend niedriger Temperatur. Von dem Heer der für die Seetiefen charakteristischen Wurzelfüßer erscheinen manche wieder im Schmelzwassertümpel der Hochalpen, am Ufer des Gletschersees, in den die Eiswand abtropft, in kalten Quellen und in Gräben glazialer Moore der Mittelgebirge, in Bergbächen, aber auch auf dem Grund schottischer Lochs und in hochgelegenen Tümpeln des nordamerikanischen Felsengebirges. Manche der Tiefenrhizopoden verlassen die profunde Region der großen Alpenfußseen überhaupt nicht.

Zur echten stenothermen Tiefenfauna zählt auch das typische Glazialrelikt *Planaria alpina*; es gehören zu ihr mancherlei Krebse von sonst vorwiegend oder ausschließlich nordischer, hochalpiner und unterirdischer Verbreitung. Auf den Seegründen des Alpenrandes lebt die Muschel der Hochgebirgsseen *Pisidium foreli* neben der Milbe *Lebertia rufipes*, die durch regelmäßiges Auftreten die Kleingewässer des ganzen Alpenzuges kennzeichnet, und neben dem im arktischen Skandinavien weitverbreiteten *Hygrobates albinus*.

Diese ganze bunte Tiergesellschaft des Kaltwassers muß den tiefen Grund der Alpenrandseen vom Ufer aus erreicht haben; denn seit dem Rückzug der diluvialen Gletscher stand ein anderer Weg nach der dunkeln Tiefe für die Tiereinwanderung nicht offen. Jede subalpine Seetiefe stellt für die Fauna einen gegen außen vollständig abgeschlossenen Wohnplatz dar, den nur ein Pfad erreicht und aus dem keiner zurückleitet. Außer dem Litoral mögen höchstens die unterirdischen Gewässer der Tiefenfauna einige wenige Bestandteile geliefert haben.

Die stenothermen Tiefenbewohner fehlen dem heutigen Ufergürtel; ihre Quelle muß daher in einer älteren, kälteliebenden Litoralbevölkerung gesucht werden, in der unmittelbar postglazialen Schmelzwasserfauna. Sie besiedelte die Ufer der vom Gletschereis freiwerdenden Seen und sank, wie heute noch die uferbewohnende Tierwelt, auf den tiefen Grund. Die steigende Temperatur der flachen Seeränder brachte den Stenothermen den Untergang; in der eisig bleibenden Tiefsee aber leben die Kältetiere heute noch weiter als Trümmer und Zeugen zugleich einer einst weitverbreiteten Glazialfauna.

An horizontaler Erstreckung und vertikaler Erhebung kann sich in Mitteleuropa kein Rückzugsgebiet kälteliebender Tiere mit den Hochalpen messen. Das gilt für die zufluchtsuchenden Bewohner des Festlandes, für

Murmeltier und Schneehuhn, für Schnecke, Spinne und Tausendfüßer, wie für die aquatile Fauna. In auffallender Weise entsprechen sich Zusammensetzung und faunistischer Charakter der Tierbevölkerung beider großen Schutzbezirke der einstigen Glazialfauna, des hohen Nordens und der Alpen.

Das zentraleuropäische Hochgebirge steht auch heute noch unter dem biologischen Zeichen der Vergletscherung. Noch wirken im kleinen Maßstab die Faktoren weiter, welche tierisches und pflanzliches Leben aus den Alpen vertrieben und wieder zurückriefen. Sie heißen wechselnder Vorstoß und Rückzug der Eismassen.

Besonderes tiergeographisches Interesse bietet das Studium der Fauna der im Hochgebirge mit reicher Hand ausgestreuten Felsteiche, Schmelzwasserweiher und Gletscherseen. Firnwände und Schneegipfel spiegeln sich in ihnen; donnernd fallen die Lawinen auf die spät sich lösende Eisdecke, und auch im Hochsommer erwärmen sich die von der Schneeschmelze beherrschten Wasserbecken im allgemeinen nur um kleine Beträge. Spät erst, nachdem die Gletscher weit zurückgewichen waren, entstanden die Hochalpenseen, zögernd hielt die Tierwelt auf aktiver Wanderung und in passivem Flug in sie Einzug, und heute noch fließen die Quellen, welche seit dem Eisrückgang neues Leben in die hochalpine Region strömen ließen.

Im Schoße der Hochalpenseen von polarem Charakter spielt sich arktisches Leben ab. An ihrem Ufer gedeiht die Muschel des skandinavischen Nordens *Pisidium loveni*. Ihre Wassermenge erfüllen in dichten Schwärmen hochrot gefärbte Diaptomiden. Es sind dieselben Arten, die das Süßwasser an der arktischen Eismeerküste in wimmelnden Massen aufsuchen. Die granitenen, einst vom Gletscher ausgeschliffenen Becken der Gotthardpaßhöhe beherbergen eine südliche Kümmerform der eigentümlichen, für das boreale Gebiet so bezeichnenden Cladocere *Holopedium gibberum*. Im Zwischenraum besetzt das Tier nur einzelne Posten in deutschen und französischen Mittelgebirgsseen und in böhmischen Moorteichen glazialen Ursprungs. Auch die für den Norden so typische *Bosmina obtusirostris* soll sogar in ihrer arktischen Varietät die Gewässer des Gotthardmassivs bewohnen.

Mächtig drängt sich der Eindruck auf, daß uns in Mitteleuropa die Trümmer und Splitter einer Kaltwasserfauna umgeben. Das weitverbreitete Heer eurythermer Kosmopoliten trennt und umflutet die Bruchstücke der kälteliebenden Tierwelt. In Bach, See und Quelle der Hochalpen besitzen die Stenothermen noch ein weitgedehntes und unbestrittenes Herrschaftsgebiet. Im Mittelgebirge aber, am Alpenfuß und im zentraleuropäischen Flachland sind sie in letzte, engumschriebene Refugien von bleibend niedriger Temperatur zurückgewichen. Die glazialen Faunentrümmer bewohnen dort die großen Seetiefen, unterirdische Wasseradern, die Rinnsale und Quellen schattiger Waldschluchten, Moore von eiszeitlicher Vergangenheit. Sie erwecken den Eindruck von Verfolgten, dem Untergang Geweihten. Ihre Verstecke aber und abgelegenen Schlupfwinkel können die Kaltwassertiere nur in der Vergangenheit erreicht haben, denn ringsum umschließt

die Refugien heute das Warmwasser und seine Fauna als unüberschreitbare Schranke. Dieses breite Hindernis können die an ausschließlich tiefe Temperaturen gewöhnten Kaltwassertiere auf aktiver Wanderung nicht überwinden. Auch der passive Import in die Refugien schließt sich aus. Die von der Außenwelt abgetrennten Verstecke der Tiefsee, der Höhle, der verborgenen Waldquelle sind für den Luftzug, den Flug von Vogel und Insekt nicht zugänglich, und zudem eignen sich die meisten der Kaltwasserrelikten und ihre Keime nicht oder nur wenig zu passivem Transport. So muß die Besiedlung der Zufluchtsstätten mit Kaltwassertieren schon in der Vorzeit, als alle Gewässer tiefer temperiert waren, stattgefunden haben, und zwar vorzüglich auf dem Wege aktiver Einwanderung. Passivem Import standen zugleich die oberirdisch liegenden Seen und Bäche der Gebirge offen.

Damit erhellt sich das rätselhafte faunistische Bild der in weitgetrennte kleinste Bestände auseinandergerissenen Kolonien stenothermer Kältetiere in der Tiefsee, in der Höhle und Quelle und im stehenden und stürzenden Wasser der Gebirge. Die Bewohner dieser Lokalitäten müssen die eingeengten Trümmer einer einst allgemeiner verbreiteten Kaltwasserfauna sein. Gerade die isolierten Heimstätten dieser Tiere sprechen für die eben geäußerte Auffassung über die Herkunft ihrer Bewohner. Wir können und müssen daran denken, daß die kälteliebenden Insassen der Refugien ihre entlegenen Wohnplätze einst unter anderen Temperaturverhältnissen schrittweise erreichten und in dieselben durch die steigende Wärme eingesperrt wurden. Die Klimaänderung versperrte den isolierten Glazialrelikten den Rückweg und schloß zugleich die Straße aktiver Zufuhr in die Refugien für weitere an Kälte gebundene Organismen.

Nirgends spricht sich im Tierleben des Süßwassers der biologische Einfluß der Eiszeit unmittelbarer und deutlicher aus, als in der mannigfaltigen Gruppe niederer Krebse. Die Entomostraken erfüllen die Seen in ungezählten Mengen als rastlos freischwimmendes Plankton; sie beleben die pflanzenbestandenen Ufer und den schlammigen Grund und stellen sich in den kleinsten Teichen und Tümpeln, den vergänglichsten Lachen und Wassergräben ein.

Ihre Beziehungen zur Vergletscherung geben sich in Verbreitung, Lebensgang und Gestaltung kund. Nach den großen und tiefgehenden Arbeiten von *Steuer*, *Sven Ekman*, *Wesenberg-Lund*, *Brehm* und *Keilhack* erscheint die Entomostrakenwelt des nordischen Süßwassers und diejenige Mitteleuropas, besonders der Alpen in weitester Umgrenzung, als eine zusammengehörende Einheit, die aus der gemeinsamen Quelle eines eiszeitlichen Bestandes hervorging. Unter dem Druck sich verändernder Außenbedingungen allerdings, schlugen die südlichen Krebskolonien vielfach eigene biologische und morphologische Wege ein, die sie den nordischen Verwandten entfremdeten. Diesen Pfaden nachzuspüren, gewährt einen klaren Einblick in die Wirkungsweise der Gletscherzeit auf die präglaziale Organismenwelt.

Die zeitlich und räumlich trennende Kluft zwischen Fauna der Alpen, des Nordens und der Glazialzeit überbrückt sich, aus Getrenntem wird wieder eine Einheit.

Wesenberg-Lund sieht mit vollstem Recht im Süßwasserplankton eine uralte Lebensgemeinschaft. Schon die kosmopolitische Ausbreitung der meisten Komponenten der freischwimmenden Gesellschaft spricht für diese Auffassung. Das Plankton des süßen Wassers existierte lange vor der Eiszeit: es mußte sich in den im Bereich der diluvialen Vergletscherung liegenden Gebiete der Herrschaft des Glazialphänomens unterziehen. Die Glazialzeit gewann für das Plankton und seine Geschichte eine zwar nur vorübergehende, aber doch tief einschneidende Bedeutung. Sie verschob die Verbreiterungsgrenzen der schon längst bestehenden, weitverbreiteten Spezies, veränderte Art und Zyklus der Fortpflanzung, schuf andere Ernährungsbedingungen und goß alte Formen in neue Erscheinungen um. Abweisend verhält sich *Wesenberg-Lund* gegen die etwa geäußerte Meinung, daß das Plankton erst im Anschluß an die Eiszeit aus dem Meer in das Süßwasser eingewandert sei und somit als arktisch-marines Relikt der großen Vergletscherungsperiode betrachtet werden müsse.

Den Versuch, aus der Verteilung der Entomostraken in Europa tiergeographische Schlüsse zu ziehen und daran speziell die Wirkungen der Eiszeit abzumessen, führte zuerst *Steuer* durch. Dem österreichischen Forscher dienten als Material vor allem die Copepoden und unter ihnen wieder nicht die wenig bekannten Harpacticiden und kosmopolitischen *Cyclops*-Arten, sondern die nach ihrem geographischen Vorkommen wohl umschriebenen zahlreichen Spezies der Centropagidengenera *Diaptomus* und *Heterocope*. Nach ihrer Verbreitung unterscheidet *Steuer* in Europa fünf Zonen, die er teilweise in Parallele zur Ausdehnung der Gletscher während der verschiedenen Phasen der Glazialzeit bringt. Die Hochgebirge, Alpen und Karpathen, sowie die Böhmen umsäumenden Höhenzüge bilden ein faunistisches „Montangebiet", dem die größte Ähnlichkeit in der Entomostrakenwelt mit dem hohen Norden eignet. In den Gebirgen erscheinen wieder die durch Carotine hochrot gefärbten Diaptomiden Nordskandinaviens und der Süßwasseransammlungen der Eismeerküste. Auch die großen borealen Bosminen und Daphnien tauchen in den Gewässern des mächtigen zentraleuropäischen Gebirgswalls wieder auf.

Ähnliche tiergeographische Grenzen wie *Steuer* fielen *Zograf* beim Studium der Verbreitung der Binnenfische und mancher niederer Süßwasserorganismen in Rußland auf. Wieder lassen sich die zoogeographischen Linien mit der Lage der Gletscherränder in gewissen Abschnitten der diluvialen Vergletscherung in Beziehung bringen. Der starre Eissaum schrieb der Tierverbreitung ihre zukünftigen Grenzen vor.

Zusammenhänge zwischen heutiger Tierverbreitung und einstiger Vereisung lassen sich auch an anderen Stellen Europas aufspüren. So erkennt *Georgevich* auf der Balkanhalbinsel, über die sich die diluvialen Gletscher zwei- oder dreimal ausdehnten, eine die Seen glazialen Ursprungs umfassende,

faunistisch wohl charakterisierte Entomostrakenzone. *Brehm* weist auf die gleichsinnige Verteilung der einzelnen *Heterocope*-Arten im hohen Norden und im Umkreis der Alpen hin. Die Arktis, Kola und die Küsten des Eismeeres bewohnt *Heterocope Weismanni*; im Alpengebiet charakterisiert dasselbe Tier die großen und tiefen Seen des nördlichen Gebirgsrandes. Weniger hocharktisch ist *H. saliens*, sie verbreitet sich hauptsächlich in Südskandinavien und Finnland; alpin kehrt sie nur in kleineren, leichter sich durchwärmenden, oft hochgelegenen Becken wieder; dagegen bewohnt der Krebs die lachenden insubrischen Seen am südlichen Alpenfuß, den Lago maggiore und di Como. Die dritte Art endlich, *H. appendiculata*, verschiebt sich sowohl im borealen als im alpinen Gebiet noch südlicher. Sie belebt die Seen des norddeutschen Tieflandes, tritt sporadisch im Schwarzwald auf und schiebt die Südgrenze ihres Wohnbezirkes weit vor bis in das Bergland von Montenegro. Die Nordsüdverteilung von *Heterocope* im borealen Gebiet findet das getreue Spiegelbild im Bereich der Alpen, als ob die Eismauern die Gattung in ungestörter geographischer Speziesfolge vom Pol nach Süden verschoben hätten.

In glänzender Weise demonstrierte *Sven Ekman* in seiner Arbeit über die niederen Krebse der nordschwedischen Hochgebirge den genetischen Zusammenhang der Fauna des borealen Nordens und Zentraleuropas und die Beeinflussung von Tiergeschichte, Tierleben und Tiergestalt durch das diluviale Gletscherphänomen. Er vergleicht biologisch die arktisch-skandinavischen Entomostraken mit den alpinen Verwandten und schafft so eine weitausblickende Parallele zwischen den zwei einst vergletscherten Gebieten des hohen Nordens und Zentraleuropas.

Von den am höchsten gelegenen Seen in *Ekmans* Untersuchungsgebiet, besonders im Sarekgebirge, weicht unter normalen Verhältnissen die Eisdecke nie. Fels und Geröll, oder die arktische Tundra umsäumt die öden Wasserbecken und in ihnen lebt eine Fauna hauptsächlich stenothermer Kaltwasserbewohner. Sie steht kaum in Beziehung zur Entomostrakenbevölkerung Südschwedens, zeigt dagegen in ihrer Gesamtheit die nächste faunistische Verwandtschaft mit der Tierwelt der mitteleuropäischen Hochgebirgsgewässer. So ergibt sich für *Ekman* der zwingende Schluß der Schaffung einer boreosubglazialen Region, die er tiergeographisch zur übrigen gemäßigten Zone in Gegensatz bringt. Die Region zerfällt in zwei durch ein weites Zwischenland von anderem Faunencharakter getrennte Bezirke, den nördlich arktischen und den südlich alpinen. Im südlichen Gebiet spricht sich der arktische Faunencharakter weniger scharf aus als im Norden. Die Fauna entfaltet sich spärlicher und ihre Arten verbreiten sich in mehr sporadischer Verteilung. Besonders aber schlug die Biologie und Morphologie der Entomostraken im kleineren einstigen Vereisungsgebiet Zentraleuropas vielfach andere Pfade ein, als bei den Verwandten des großen nordischen Gletscherareals. Die Differenzen erklären sich durch die Verschiedenheit der an beiden Orten herrschenden Bedingungen, die sich postglazial mehr und mehr ausprägte. Sie stellen sich

also dar als eine Folge eiszeitlicher und besonders nacheiszeitlicher Einflüsse.

Die zur Glazialzeit in Mitteleuropa lebenden und später dort zurückbleibenden nordischen Krebse erreichen in ihren südlichen Reliktenkolonien nicht die volle Größe der borealen Stammformen. Das zeigte *Brehm* für Vertreter der Gattung *Diaptomus*, sowie für *Polyphemus* und *Holopedium* aus Lappland und aus den österreichischen Seen. Erst in den höchstgelegenen Seebecken der Alpen, denen arktischer oder subarktischer Charakter zukommt, nähern sich die Körperdimensionen der Copepoden und Cladoceren wieder den für die Stammverwandten des borealen Gebietes geltenden Massen. Dazu gesellt sich das für die Erhellung der Beziehungen zwischen Nord- und Zentraleuropa entscheidende Moment, daß die Entomostraken mäßig hochgelegener Wohnplätze in Mitteleuropa in der kalten Jahreszeit im allgemeinen Größe und Gestalt der nordischen Vorfahrenform annehmen. Die Sommergenerationen dagegen weichen in Erscheinung und Morphologie von den borealen Vertretern der Art beträchtlich ab. Das fiel schon *Steuer* an den Bosminen der alten Donau bei Wien auf. Damit erschließt sich aber auch die Möglichkeit, die eigentümliche Erscheinung der Cyclomorphose vieler Cladoceren als eine Folge der Eiszeit, oder genauer, der an dieselbe sich anschließenden, besonders in Zentraleuropa sich fühlbar machenden Wärmesteigerung zu deuten.

Im arktischen Norden und in den Hochseen der Alpen verändern die Cladoceren in der Generationenfolge eines Jahres ihre Gestalt nicht oder nur in unbedeutendem Ausmaß. Anders im zentraleuropäischen Flachland. Die Spanne eines Jahres bringt vielen der die sich durchwärmenden Gewässer der Ebene bewohnenden Cladoceren eine so tiefgreifende Umgestaltung, daß die extremen Formen des jährlich wiederkehrenden Zyklus lange Zeit als eigene, wohl umschriebene Arten angesehen wurden. Die sehr zahlreichen und verschiedenartigen Sommerformen kehren im Kommen und Gehen der Generationen alle zu derselben Winterform zurück. Diese winterliche Form des Flachlandes aber entspricht in ihrer Erscheinung der einer Cyclomorphose nicht oder wenig unterworfenen arktischen und hochalpinen Gestalt der betreffenden Krebsspezies.

Der Gang der jährlichen Umgestaltung verläuft ungefähr parallel den Veränderungen von Temperatur und Wasserdichtigkeit des Wohnortes. So liegt die Vermutung nahe genug, die Cyclomorphose sei die Folge der nacheiszeitlichen Wärmezunahme. Auf die im Verlauf des Jahres in weiteren Grenzen sich bewegende Wassertemperatur und innere Wasserreibung mußte der Körper der pelagischen Cladoceren durch periodische Formveränderungen reagieren, die im wesentlichen eine Veränderung der Schwebefähigkeit bedeuten und so als Anpassung an die wechselnde Wasserdichtigkeit aufgefaßt werden können. Durch die postglaziale Wärmesteigerung geriet die Spezies in zyklischen morphologischen Fluß. Im Kaltwasser der Arktis aber und des Hochgebirges blieb die nordische Urform der Art unverändert bestehen. Sie erscheint im Zyklus der Cla-

doceren des mitteleuropäischen Flachlandes wieder während der kalten Jahreszeit.

Noch tiefergreifend wirkte die Eiszeit morphologisch durch Schaffung konstant bleibender Varietäten und Arten. Wie die abgesprengten südlichen Kolonien von *Planaria alpina* durch die Einführung der Polypharyngie zur Speziesbildung neigen, und wie die isolierten Bestände der Bythinellen in jeder einsamen Waldquelle den Weg der Varietätenbildung beschreiten, so gingen auch die ursprünglich in der glazialen Mischfauna vereinigten Entomostraken nach ihrer späteren Auseinanderreißung im Norden, in den Alpen und in den relikten Kolonien Mitteleuropas ihre eigenen Entwicklungswege. Noch heute fließt der Differenzierungsprozeß der ihren ursprünglichen arktischen Lebensbedingungen mehr oder weniger entrückten Glazialrelikte Zentraleuropas weiter. Er führt morphologisch zu neuen Arten und Varietäten, biologisch zu besonders gekennzeichneten Rassen.

Der bekannte pelagische Tiefenbewohner *Bythotrephes longimanus* ist gegenwärtig im Begriff, sich in eine nördliche und südliche Art zu spalten. Von ihnen trägt die arktische Form die primitiven Vorfahrenmerkmale. Nach Süden, in die Schweiz und die angrenzenden Gebiete, hielt der Krebs im Anschluß an die Eiszeit Einzug. Er lebt dort unter ihm ursprünglich fremden Verhältnissen, die ihn, im Gegensatz zur nördlichen Stammart, zum ausschließlichen Bewohner der pelagischen Region machten und zugleich morphologisch umbildeten. Auch der verwandte *Polyphemus* befindet sich auf seinen südlichen Vorposten am Alpenrand in morphologischer und biologischer Umformung. Gegenüber der arktischen Form reduziert sich seine Größe, schränkt sich seine Fruchtbarkeit ein und verändert sich sein Fortpflanzungszyklus. In den Hochalpen selbst aber, die er nach *Keilhack* in der Dauphiné bis zu 2000 *m* Höhe ersteigt, behält *Polyphemus* den kurzen nordischen Wechsel der Generationen mit jungfräulicher Zeugung und mit befruchtungsbedürftigen Eiern bei.

Nirgends tritt der formenprägende Einfluß glazialer Wanderung und postglazialer Isolation in den Schranken engumschriebener Wohnorte deutlicher zutage, als bei den Vertretern der Gattungen *Bosmina* und *Daphnia*, die heute eingesperrt in die Wasserbecken des Alpenfußes leben. Diese mit nordischen Formen verwandten Krebse haben im Alpengebiet zum größten Teil die Fähigkeit eingebüßt, verschleppungsfähige Dauereier zu bilden. Passiver Transport von See zu See wird so unmöglich, und die Kolonie jedes Gewässers bildet eine in sich geschlossene mit anderen Beständen der Art sich nicht mehr mischende biologische Einheit. Die Folgen dieser Isolierung lassen sich an der fast unendlichen Fülle lokaler Rassen und Varietäten erkennen, die *G. Burckhardt* und *Brehm* für die Bosminen und Daphnien der Alpenrandseen der Schweiz, Bayerns und Österreichs beschrieben. Ähnlich bevölkern die nordischen Fische, die Felchen oder Coregonen, die die Eiszeit nach Süden warf, die Wasserbecken des Alpenrandes in zahlreichen jungen Arten und noch kaum unterscheidbaren Varietäten. Der abnehmende Wasserreichtum spätpostglazialer

Zeiten sperrte sie in die sich enger und fester umgrenzenden Seen ein, isolierte ihre Kolonien und trieb die sich abtrennenden Bestände der Fische auf die Wege divergierender Formbildung.

Auch für die Copepoden läßt sich die Entstehung neuer Formen im Anschluß an die Eiszeit erkennen. Aus *Diaptomus graciloides* ging in den durch ein breites Gebirgsland vom Wohnbezirk der Stammart getrennten oberitalienischen Seen die Varietät *padana* hervor. Der hochnordische *D. bacillifer* tritt in den Alpen als var. *alpina*, in den Gewässern der Tatra als var. *montana* auf. Auch der stenotherm-glaziale *Cyclops strenuus* strebt in seinem nördlichen und südlich-alpinen Wohngebiet morphologisch auseinander.

Biologisch wirkt in den niederen Krebsen die Eiszeit nach in der Wahl des Wohnortes, im damit engverknüpften Wechsel der Lebensweise und in der Veränderung der Fortpflanzungserscheinungen. So bildet sich wieder eine weitgehende Divergenz zwischen der Entomostrakenwelt des Nordens und derjenigen der südlichen Gewässer von nur mäßiger Höhenlage heraus.

Gewisse kälteliebende Arten, die in den nordskandinavischen Gebirgen und zugleich in den Hochalpen die seichtesten Kleingewässer, den untiefsten Ufersaum erfüllen, ziehen sich in den wärmeren Seen des Alpenrandes und der mitteleuropäischen Ebene in das kühlere Gebiet der großen freien Wassermasse zurück; sie gesellen sich ausschließlich dem Plankton bei. Dieser Rückzug in das pelagische Gebiet verbindet sich mit einer besonders scharfen Ausprägung der regelmäßigen vertikalen Wanderungen. Nachts belebt sich die Seefläche mit wimmelnden Heeren aus der Tiefe aufsteigender Crustaceen, die während des Tages wieder in die tiefen Wasserschichten zurücksinken. Lichtscheu scheint diesen rhythmischen Auf- und Abstieg zu regeln. Doch macht *Brehm* darauf aufmerksam, daß die Lichtflucht vielleicht erst sekundär aus der Wärmeflucht entstanden sei. Die Planktonkrebse wurden in der dunkeln Tiefe leukophob, die sie auf dem Rückzug von der sich stärker erwärmenden Oberfläche aufsuchten. Die postglaziale Wärmezunahme müßte also, nach *Brehms* Auffassung, für die so eigentümliche biologische Erscheinung der vertikalen Planktonwanderungen verantwortlich gemacht werden.

Manche stenotherme Glazialtiere halten auch unter den heutigen veränderten Temperaturverhältnissen zäh an ihren arktischen Lebensgewohnheiten fest. Ihre Fortpflanzung vollzieht sich auch im milderen Klima zur Zeit tiefer Temperatur. Sommerlaicher des Nordens und des Hochgebirges vermehren sich im mitteleuropäischen Flachland mitten im Winter. In diese Reihe rückt, neben die schon genannte *Planaria alpina*, der pelagische Copepode *Cyclops strenuus*, ein durch ausgesprochene Kälteliebe gekennzeichnetes Glazialrelikt. Im Hochgebirge, dessen stehende Gewässer er in ungeheurer Individuenfülle beherrscht, pflanzt sich der Krebs am ausgiebigsten im Sommer fort; er verlegte unter den nordischen Bedingungen der Alpen seine Vermehrungszeit nicht. Die Gewässer der Ebene

dagegen bevölkern die *Cyclops*-Schwärme ausschließlich, oder doch in stärkster Entfaltung und Vermehrung, zur Zeit der tiefen Temperatur, im Winter. Auch auf die Winterlaicher unter den Fischen, die aus dem Norden stammenden Salmoniden und den Stockfisch des Süßwassers, *Lota vulgaris*, sei in diesem Zusammenhang hingewiesen.

Ungemein zäh erhielt sich in den südlichen Kolonien mancher ursprünglich nördlicher Diaptomiden die arktische Gewohnheit, Dauereier zu bilden. Unter den Eiszeitverhältnissen, und heute noch im hohen Norden, besaß und besitzt die Fähigkeit, ausdauernde, den klimatischen Fährlichkeiten Trotz bietende Keime erzeugen zu können, für die Erhaltung und Verbreitung der Spezies die höchste Wichtigkeit. Für die im Jahreslauf nie zur Ruhe gehenden Reliktenkolonien Mitteleuropas hat die Dauereibildung Zweck und Sinn eingebüßt; sie mutet an wie eine nachklingende biologische Reminiszenz an die Vorfahren, die unter der Herrschaft der Eiszeit standen.

Umgekehrt erlernte der Krebs *Canthocamptus microstaphylinus* wohl erst sekundär im Anschluß an die nacheiszeitliche Erwärmung die Erzeugung von Dauerstadien, die nicht den rauhen Winter, sondern die warme Jahreszeit latent überstehen sollen. Das Tier lebt im Untersee in mäßiger, den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen nicht entrückter Tiefe. Beim Anbruch des Sommers umgeben sich die kälteliebenden Krebse mit Cysten, und erst im Spätherbst, beim Temperaturfall, erwachen sie wieder aus ihrem Sommerschlaf.

Für die Cladoceren, die über zwei Vermehrungsmöglichkeiten durch befruchtete und unbefruchtete Eier verfügen, verschieben sich die Fortpflanzungszyklen der südlichen Kolonien gegenüber dem nordischen Stamm in sehr bezeichnender Weise. In den Gewässern der nordschwedischen Hochgebirge schränkt sich die Zahl der jungfräulich sich vermehrenden Generationen der Wasserflöhe auf ein Minimum ein, die Erzeugung befruchtungsbedürftiger Dauereier spielt dagegen die größte Rolle.

Ein ganz anderes Bild bietet der Fortpflanzungszyklus der einst nordischen Cladoceren in der zweiten, seit der Glazialzeit bezogenen Heimat in Zentraleuropa und am Alpenrand. Wie sich die Körpergröße herabsetzt, so nimmt auch die Fruchtbarkeit und die Zahl der gleichzeitig erzeugten Eier bei diesen Entomostraken im südlichen Wohngebiet stark ab. Als der Erhaltung der Spezies günstiges Gegengewicht aber dient die Einschiebung zahlreicherer, rein jungfräulich sich vermehrender Generationen zwischen die Epochen zweigeschlechtlicher Fortpflanzung. Die Dehnung der parthenogenetischen Herrschaft geht so weit, daß die Kolonien von *Daphnia hyalina* und *Bosmina coregoni* in den alpinen Randseen die Fähigkeit, befruchtete Dauereier zu bilden, ganz oder fast ganz einbüßten. Männchen erscheinen nicht mehr, und die jungfräuliche Zeugung beherrscht unbegrenzt die Vermehrung der Kolonie.

Bei den durch das Gletschereis nach Süden geschobenen Cladocerenkolonien tritt der nach *Weismanns* Annahme ursprüngliche Modus der

ausschließlichen Fortpflanzung durch befruchtungsbedürftige Eier schrittweise zurück. An seine Stelle setzt sich die sekundär entstandene Parthenogenesis.

Wie die Fauna des Süßwassers, so redet auch die Tierwelt des mitteleuropäischen Festlandes von Verschiebungen und Wanderungen, von Mischung fremdartiger Elemente durch die diluvialen Eismauern und von Rückwanderung gegen den Pol und Aufstieg in die Gebirge, als die Gletscher endlich abschmolzen. Auch auf die präglaziale terrestrische Organismenwelt wirkte die Eiszeit vor allem faunistisch mischend und erst in zweiter Linie morphologisch neu schöpfend. Sie zerstörte Vorhandenes, verschob die Verbreitungslinien der Überlebenden und würfelte Fremdes in buntem Gemisch durcheinander.

Demgemäß lassen sich die Spuren glazialer Wirksamkeit vor allem in der heutigen geographischen Verbreitung der mitteleuropäischen Festlandtiere erkennen. Doch auch das Vorkommen und die Lebensweise mancher terrestrischer Geschöpfe gestatten Schlüsse über den Einfluß der Eiszeit auf die Fauna, und nicht selten erhalten die geographischen und biologischen Tatsachen feste paläontologische Stützen.

Die Landfauna des Nordens und der Hochalpen, der beiden ehemaligen Vergletscherungszentren, trägt ein gemeinsames Gepräge. Aus dem mitteleuropäischen Flachland, aus dem weiten Meer einer kosmopolitischen Tierwelt erheben sich, wie Oasen oder Inseln, Bestände arktischer und alpiner Tiere. Die über die warme Ebene ragenden Kuppen und Horste der Mittelgebirge, Moore, Dünen und Heiden, Orte welche den landschaftlichen und klimatischen Charakter der Eiszeit mehr oder weniger treu zu bewahren wußten, beherbergen auch heute noch die Trümmer einer kältesuchenden Tierwelt.

Schneehase, Schneehuhn und Schneefink wichen nach den Kämmen der Hochgebirge und nach dem arktischen Norden zurück. Die lebendig gebärende Bergeidechse erklettert im nördlichen Lappmark die Tundren der baumlosen Grauweidenregion. Sie schiebt ihre südlichen Vorposten über Skandinavien, Dänemark und Norddeutschland bis auf die Dünen längs der Nordsee vor. Doch schon in den belgischen Ardennen verläßt das behende Tier die Talsohle und bewohnt die Bergflanken; es bevölkert die Höhen der süddeutschen Mittelgebirge und steigt in den Alpen und Pyrenäen auf Schutt- und Geröllinseln mitten im Gletscherstrom, um nur selten die Höhenlinie von etwa 1000 *m* nach unten zu verlassen. Im Flachland und auf dem Talboden streuen sich in der Schweiz die Wohnorte der Bergeidechse nur sporadisch und durch weite Zwischenräume getrennt aus. An Orten von eiszeitlicher Vergangenheit, auf von alten Moränen abgedämmten Torfmooren etwa, in feuchten Brüchen, mitten im Gewirr fallender Stämme und üppig wuchernden, schattigen Buschwerks hält sich *Lacerta vivipara* in der Ebene auf. Der Saurier belebte wohl während der großen Vergletscherung die ganze eisfreie Zone Mitteleuropas. Er folgte den rückweichenden Eismauern gegen den Pol und gegen den Gebirgs-

kamm und fand hartbedrängt Zuflucht auf Bergkuppen von mäßiger Erhebung und auf heute zu Mooren gewordenen Gletscherböden der Talsohlen.

Die arktischen Schmetterlinge wiegen sich auch auf den schönfarbigen Blütenteppichen der Alpen. Je weiter sich ihre Verbreitungsgrenze nach Süden verschiebt, desto höher wagen sie sich hinauf in die Schneeregion des Hochgebirges. Im flachen Mitteleuropa aber durchflattern sie nur die an Gebirgspflanzen reichen Torfmoore und die von den diluvialen Gletschern aufgeschütteten Moränenwälle. Als Beispiel der borealalpinen Falter mag der schwefelgelbe *Colias palaeno* gelten. Er fliegt über den arktischen Ebenen rings um den Pol, wie über den Alpweiden und über den Hochplateaus der Ardennen, des Schwarzwaldes und der Vogesen, die Moore bedecken, und über die Heidekräuter ihren Blütenteppich breiten. Im Oberengadin und im Wallis leben die Käfer der Karpathen und des arktischen Nordens. Die Hummeln und Libellen der mitteleuropäischen Berge kehren in Skandinavien wieder, und die unter Stein und Baumrinde versteckt lebende Gesellschaft der Springschwänze zeigt im schweizerischen Gebirgsland faunistisch die nächsten Anklänge an Norwegen, Schweden und Finnland.

Ähnliche Beziehungen zwischen dem Norden und den Gebirgswällen Mitteleuropas lassen die Tausendfüßer, und unter ihnen besonders die von klimatischen Bedingungen in hohem Grad abhängigen Diplopoden, unschwer erkennen.

Die Nadelwaldungen der Zentralalpen, von der Höhenlinie von 1600 *m* an aufwärts, verwüstet die nordrussische Rindenlaus, *Chermes sibiricus*. In den deutschen Gebirgen ist der borealalpine Schädling unbekannt.

Den besten Aufschluß über die zoologische Wirkung der Eiszeit auf die Bewohnerschaft des Festlandes gibt die sorgfältige Betrachtung einzelner Tiergruppen, denen geringe Bewegungsfähigkeit eine Flucht vor den vorstoßenden Gletschern nur in beschränktem Maße gestattete, und die daher den glazialen Einfluß tiefgehend verspüren mußten.

Zu einem derartigen Studium eignen sich vor allem die am Standort klebenden Schnecken, und das um so mehr, als ihre Schalen versteinerungsfähig sind und sich so eine paläontologische Nachprüfung der auf zoogeographischem und biologischem Wege gewonnenen Schlüsse durchführen läßt.

Schon älteren Forschern wie *O. Heer* und *v. Martens* fiel die große Ähnlichkeit der hochalpinen und nordpolaren Landschneckenfauna auf. Beide weit voneinander abliegende Bezirke kennzeichnen sich durch den großen Reichtum kleiner Bodenschnecken, Vitrinen und Pupen, die feuchte und kühle Schlupfwinkel aufsuchen. In der oberen Waldregion der Hochalpen lebt ungefähr derselbe Schneckenbestand, der das Leben unter klimatisch und floristisch entsprechenden Verhältnissen Lapplands und Nordrußlands fristet. Hoch an den Alpenkämmen aber suchen inmitten einer kümmerlichen Vegetation unter dem Geröll die Gastropoden des arktischen

Skandinaviens und Grönlands Zuflucht. An tieferliegenden Lokalitäten blieben im zentralen Europa da und dort unter dem Schutz geeigneter Lebensbedingungen kleine Gesellschaften der borealalpinen Schnecken zurück. So teilt im Riesengebirge *Pupa arctica* aus Lappland den Standort mit dem nordischen Steinbrech, *Saxifraga nivalis*. *Tachea sylvatica*, eine typisch alpine Schnecke, findet sich in der Schweiz in engst umschriebenen Bezirken von wenigen Quadratmetern Ausdehnung weit unter ihrer tiefsten, bei etwa 600 *m* Höhe liegenden Verbreitungsgrenze. Oft allerdings läßt sich die Entstehung dieser abgesprengten Kolonien durch passive Verschleppung durch die Wellen der Flüsse verstehen. Das fließende Wasser arbeitet ununterbrochen an der Verschiebung der Verbreitungslinien mancher, und zwar nicht nur aquatiler Schneckenarten. Auf den Wogen des großen Stromes erreichten vom Hochland aus *Tachea sylvatica* und *Fruticicola villosa* ihre heutigen vereinzelten Wohnsitze am Flachufer des elsässischen Rheins.

Das geographische Bild der modernen mitteleuropäischen Schneckenwelt wiederholt die allgemeinen Umrisse, welche sich für andere Tierabteilungen gewinnen ließen. Es baut sich in der Hauptsache auf aus einer großen Menge kosmopolitischer Arten, Bewohnern von Ebene und Bergen, und aus ziemlich zahlreichen borealalpinen Formen, die den Norden und zugleich die mitteleuropäischen Gebirge bewohnen. Im Tiefland, das sich zwischen dem nordischen und montanen Wohnbezirk ausdehnt, fehlen die borealalpinen Arten, oder treten nur in engbegrenzten Distrikten auf, in denen klimatisch wenigstens die Eiszeit noch nicht ganz zu Ende ging. Sie lassen sich als Trümmer einer früher einheitlich verbreiteten kälteliebenden Fauna auffassen, welche die postglaziale Temperatursteigerung auseinander sprengte, nach Norden drängte und hinauf in die Gebirge warf.

Diese Deutung der borealalpinen Schnecken gewinnt an Wahrscheinlichkeit durch fossile Belege. In den wohl durch heftige Stürme im Laufe der letzten Interglazialzeit zusammengewehten Sandmassen des Löß ruht, neben den Knochen des Mammut, *Rhinoceros tichorhinus*, *Bos primigenius* und verschiedener Steppentiere und Angehöriger eines kälteren Klimas, eine seltsam gemischte Sammlung von Schalen landbewohnender Gastropoden. Manche ihrer Träger leben heute noch häufig in der nächsten Umgebung; andere sind selten geworden, sie haben höher gelegene, kühle Wohnorte aufgesucht. Wieder andere Lößschnecken vollends fehlen in neuer Zeit dem Rheintal und seinem weitesten Umkreis ganz. Sie unternahmen den Aufstieg nach den Flanken und Kämmen der Alpen, oder wagten die lange Reise nach dem skandinavischen und russischen Norden. Einige wurden zugleich alpin und boreal. Die aus verschiedenartigen Bestandteilen zusammengewürfelte Schneckenwelt des interglazialen Löß spaltete sich im Laufe des Gletscherrückzuges. Die eurythermen Kosmopoliten gediehen weiter im sich erwärmenden Flachland; die stenothermen, tiefe Temperaturen suchenden Formen starben in der Ebene aus, sie fanden

Zuflucht im Norden und auf dem Gebirge. Was die geographische Verteilung erschließen ließ, eine postglaziale, durch Temperatursteigerung bedingte Faunenzersprengung, bestätigt der paläontologische Befund.

Die neuesten Arbeiten beleuchten besonders hell die Entstehung und Geschichte der rezenten mitteleuropäischen Schneckenwelt, ihre Zusammensetzung aus alten Bestandteilen, die den Einfluß der Gletscherzeit über sich mußten ergehen lassen, und aus einer kleinen Zahl junger Zuwanderer, die ein milderes Klima der Nachgletscherzeit in das Land rief.

Eine zoogeographische Analyse der Schneckenfauna von Basels Umgebung versuchte *G. Bollinger*. Mit seinen Anschauungen decken sich im wesentlichen die Vorstellungen, welche, gestützt auf eingehende Studien über Verbreitung und Lebensweise der mitteleuropäischen Weichtiere, *Geyer* gewonnen hat.

Übereinstimmend erklären die beiden Forscher den großen Grundstock der uns umgebenden Schneckenwelt als präglazialen Alters. Zu dieser Tiermasse gehören etwa die Hälfte sämtlicher Gastropoden des Gebietes. Es handelt sich um ungemein weitverbreitete Bewohner der ganzen Palaearktis oder sogar Holarktis von größter Anpassungsfähigkeit an verschiedenartige Bedingungen. Ihrem weiten Wohnbezirk ziehen nicht einmal die ragenden Alpenketten eine Grenze. Vom ewigen Schnee des Hochgebirges bis zum Polarkreis verbreiten sich diese gegen Wärmedifferenzen und Klimaschwankungen unempfindlichen Geschöpfe in gleichmäßig dichter Ausstreuung.

Für manche schließt sich der bewohnte Gürtel zu einem Kranz um den Pol zusammen.

Zur Erklärung so ausgedehnter Heimatbezirke, denen weder Meere noch Gebirge Schranken setzen, genügt die Annahme von in neuer Zeit sich vollziehenden passiven und aktiven Wanderungen nicht. Nur hohes geologisches Alter kann den weitverbreiteten Arten erlaubt haben, von so umfangreichen Arealen allmählich Besitz zu ergreifen. Die Wurzeln der Stämme reichen in tertiäre und vortertiäre Zeiten zurück, als Land und Wasser noch andere Grenzlinien gezogen waren, und Gebirge und Ebenen in anderem Gefüge wechselten. Außer der weiten Verbreitung und der Unempfindlichkeit gegenüber äußeren Einflüssen spricht für das hohe geologische Alter der Großzahl unserer Schnecken deutlich genug auch die Paläontologie. Die fossilen Gehäuse vieler Arten liegen in präglazialen Schichten, oder wenigstens in Ablagerungen aus den Zwischengletscherzeiten.

In den Lößhügeln des letzten Interglazials, die aus der oberrheinischen Tiefebene emporsteigen, fand *Gutzwiller*, wie ausgeführt wurde, eine reiche Zahl jetzt noch in der nächsten Umgebung lebender Schnecken neben Arten, die heute in die Gebirge emporgestiegen oder nach dem Norden des Erdteils zurückgewichen sind.

Neben den palaearktischen Kosmopoliten bevölkerten auch die heute borealalpin verteilten Gastropoden bereits in der Vorgletscherzeit, oder doch

während der großen Rückflußepochen, die mit dem Vorstoß der Eisströme wechselten, das Gebiet nördlich des Alpenkamms. In der Jetztzeit leben diese an tiefe Temperaturen gewöhnten Tiere in den mitteleuropäischen Gebirgsländern. Manche gedeihen zugleich in Skandinavien sowie in den dichten Forsten und an den Fluß- und Seeufern Nordrußlands, und nicht selten schiebt sich zwischen den beiden Wohnräumen als trennende Schranke das deutsche Tiefland ein. Es fällt schwer, den Gedanken abzuweisen, daß die heutige eigentümliche Verbreitung der borealalpinen Schnecken nicht nur durch topographische Verhältnisse, sondern auch durch erdgeschichtliche Faktoren herbeigeführt wurde. Die Tiere waren Zeugen der Eiszeit. Sie mischten sich unter die Fauna des nicht vergletscherten Landstreifens und suchten postglazial als Trümmer dieser Tierwelt, als Glazialrelikte, den Norden und das Gebirge auf.

So stellt sich die rezente Schneckenfauna unserer Breiten in ihren wesentlichen Bestandteilen als ein Erbstück aus der Tertiärzeit dar. Die große diluviale Vergletscherung bedeutet für diese Tierwelt einen tiefgreifenden Zwischenfall, aber nicht den Untergang. Die meisten einheimischen Schnecken fügten sich der rauhen Herrschaft der Eiszeit. Die Not trieb sie zur Wanderung nach eisfreien Gebieten und führte sie teilweise zur Umbildung. Den rückweichenden Gletschern folgte langsam auch das Volk der Schnecken. Noch heute fließt die Rückwanderung weiter, und manche Art sucht in geduldig vorschreitendem Zuge das Gebiet zurückzuerobern, das sie schon früher in präglazialer Zeit beherrschte.

Den schwer beweglichen Schnecken gelang der postglaziale Rückzug nach dem Hochgebirge und nach dem borealen Gebiet nur teilweise. Manche Arten erwiesen sich als unfähig zur weiten Reise. Sie blieben im zentraleuropäischen Tiefland stehen und suchten vor der steigenden und in weiten Extremen sich bewegenden Temperatur der Nachgletscherzeit Zuflucht im naheliegenden, weiten Refugium der Wälder.

Der feuchte, moosbedeckte Waldboden, auf dem Blätter und Zweige in dicken Schichten vermodern, kommt den Wohnortsansprüchen von an niedrige und gleichmäßige Temperatur gebundenen Tieren in fast idealer Weise entgegen. Zufuhr und Ausstrahlung der Wärme vollziehen sich im Waldesschatten nur langsam; direkte Insolation trifft den Boden nicht. Dafür bindet die Verdunstung große Wärmemengen. Das alles führt schon in der heißen Jahreszeit zu einer starken Temperaturherabsetzung gegenüber dem waldfreien Land. Wenn aber der Winter seine weiße Decke ausbreitet, erzeugt der langsam sich zersetzende und verbrennende Mulm und Moder des Waldgrundes so beträchtliche Wärmemengen, daß selbst unter tiefem Schnee reiches Tierleben weiterpulsieren kann. *Bollinger* maß unter der Laubschicht winterliche Temperaturen von + 2 bis 3° C, während das Thermometer in der Luft — 7 bis 10° zeigte. So erfüllt sich im Waldboden die Forderung stenothermer Tiere nach in nur engen Grenzen sich bewegender, ausgeglichener Temperatur. Auch der zweite Anspruch nach tiefem durchschnittlichem Thermometerstand bleibt nicht unerhört.

Die mittlere Jahrestemperatur des Waldes steht um den Betrag von 5 bis 10° C hinter derjenigen des benachbarten freien Feldes zurück.

Die Schneckenbevölkerung der mitteleuropäischen Wälder trägt alle biologischen Kennzeichen einer stenotherm die Kälte aufsuchenden Tiergesellschaft. Viele ihrer Vertreter führen eine nächtliche und halb unterirdische Lebensweise in Moos und Mulm, in Höhlen und Klüften, im kalten Wasser versteckter Quellen und schattiger Bäche. Nicht etwa die höchsten Kuppen und Gipfel der Mittelgebirge stellen die Zufluchtsorte der Landschnecken dar, sondern enge Schluchten, die ein dichtes Blätterdach kühl und eine im Moder sickernde Quelle feucht erhält. Waldtobel, in denen bis in den Vorsommer der Schnee liegen bleibt, geben bevorzugte Wohnplätze für die kälteliebenden Schnecken ab. Manche dieser Tiere verlassen ihre Schlupfwinkel nur nachts oder wenn frostiger Regen den Boden weithin netzt. Der erste Sonnenstrahl treibt sie in die Verstecke zurück. Im ganzen Leben und Treiben spricht sich die Vorliebe für tiefe und konstante Temperatur aus.

Diese verborgene, in die immer tief temperierten Verstecke des Waldbodens gedrängte Schneckenwelt macht den Grundstock der borealen Molluskenfauna aus. Zu ihr zählen die Großzahl der Hyalinen und Vitrinen und die formenreiche Gruppe der in Moos und Moder hausenden Clausilien und Pupen. In ihrer Gesellschaft leben manche moos- und erdbewohnende Vertreter verschiedener anderer Tiergruppen. Sie schließen sich mit den Schnecken zu einer faunistischen Einheit zusammen, die heute noch in verborgenen Zufluchtswinkeln unter den früher allgemein herrschenden Bedingungen der Glazialzeit ihr Leben weiterfristet. Ökologie und Biologie läßt diese Organismen als Überreste einer stenotherm die Kälte aufsuchenden Fauna erscheinen, und die Paläontologie bestätigt, daß manche ihrer Arten die diluvialen Gletscher mächtig anschwellen und wieder zurückweichen sahen.

Nicht nur das Vorkommen, die Lebensweise und die fossilen Dokumente prägen einem großen Teil der Schneckenfauna des paläarktischen Festlandes den Stempel glazialer Tiere auf, auch die Körpergestaltung spricht etwa von der Eiszeit und ihrem ummodelnden Einfluß. Für einige Gastropoden entwickelte sich neben der schon präglazial allgemein verbreiteten Form während der lange dauernden Vergletscherung eine heute nur der Arktis und den Hochalpen angehörende glaziale Nebenform. Kleinheit, dünne Schalen, Neigung zum Gehäusealbinismus charakterisieren zudem viele Vertreter der nordisch-alpinen Schneckengruppe. Das größte geologische und klimatologische Ereignis der Quartärzeit, die allgemeine Vereisung, ging somit an unserer aus dem Tertiär übernommenen Gastropodenwelt nicht spurlos vorüber. Noch heute sprechen für seinen tiefgreifenden Einfluß Wohnort und Lebensweise, Körpergestalt und Verbreitung zugleich im Gebirge und im Polarkreis. Biologie, Morphologie und Geographie der Schnecken zeugen für die gewaltige Kraft der Eiszeit gegenüber Lebewesen.

Schon während der Gletscherherrschaft und postglazial wieder erhielt übrigens die alte, bodenständige Molluskengesellschaft Mitteleuropas Zuzug aus verschiedener Richtung. Während interglazialer Versteppungsperioden wohl stellten sich Zuwanderer aus dem Osten ein. Ihre Schalen mischen sich in den Ablagerungen der Zwischengletscherzeiten mit den Überresten borealalpiner Formen, und heute teilen die Nachkommen der östlichen Ankömmlinge die Refugien mit den Glazialrelikten von hochnordischem und alpinem Gepräge.

Viel später, erst als die Gletscher endgültig zurückwichen, bereicherte sich die zentraleuropäische Schneckenfauna um mediterrane Elemente. Sie bilden im Gegensatz zur alteingebürgerten Tierwelt eine kleine Gruppe von Neulingen ohne großes numerisches Gewicht. Von ihnen sprechen im Herzen Europas keine fossilen Dokumente. Doch beanspruchen sie Interesse durch Zeit und Ort ihrer Herkunft und durch den Verlauf der Bahn, die sie aus dem sonnigen Süden nach dem nordalpinen Boden führte.

Seit der postglazialen Temperatursteigerung dringen die südländischen Schnecken energisch nach Norden vor. Einige wenige mögen dabei nur ein altes Gebiet wiederbevölkern, das sie präglazial schon einmal bewohnten. Die meisten aber sind vollständig neu eindringende Fremdlinge nordwärts vom Alpenwall. Geringe biologische Schmiegsamkeit und damit verbunden eigentümlich lokalisiertes Auftreten an warmen Standorten, Bedürfnis nach Sonnenlicht und Sonnenwärme kennzeichnet diese Schnecken als Kinder des Südens. Die einzelnen Fundstellen zeigen etwa, wie isolierte Wegweiser, die nach Norden führende Verbreitungsstraße der Art an. Der Weg umgeht das unüberwindliche Hindernis der Alpenmauer und leitet vom Mittelmeer durch das Rhonetal und das lemanische Tor an den Südhang des schweizerischen Jura. Ein anderer Pfad öffnet sich durch die burgundische Pforte zwischen Jura und Vogesen nach dem Rheintal, und wieder andere der Südländer drängen von Norden her auf weitem Umweg gegen die Schweiz vor, nachdem sie immer den Meeresküsten folgend die Mosel und den Rhein erreichten. Was die Schnecken durch Verbreitung und Lebensweise über die faunenbildende und zerstörende Kraft der Eiszeit berichten, findet seine Bestätigung bei der zoogeographischen Betrachtung anderer Tiergruppen, die mit den Mollusken die geringe Bewegungsfähigkeit teilen.

Für die unterirdisch lebenden, an die Scholle gebundenen Regenwürmer stellt *Michaelsen* einem großen Gebiet, das nur allgemein verbreitete, kosmopolitische Formen beherbergt, einen kleineren, südlichen Bezirk mit spezialisierten, endemischen Arten gegenüber. Der erste Distrikt umfaßt ganz Europa bis zum nördlichen Eismeer; das zweite Gebiet dagegen, mit seiner reichen Vertretung endemischer Lumbriciden, bricht im Norden schon bei einer Linie ab, die von Mittelrußland über Rumänien und Nordungarn durch Mitteldeutschland nach dem Norden Frankreichs zieht. Diese nördliche Grenzlinie endemisch auftretender Regenwürmer deckt sich auffallend genau mit dem Südrand der fennoskandischen Eis-

mauer zur Zeit ihrer größten Ausdehnung. Der Schluß liegt nahe genug, in der heutigen Verteilung der europäischen Regenwürmer eine nachklingende biologische Folge der großen diluvialen Vergletscherung zu erblicken. Soweit das Nordlandeis reichte, starb die Regenwurmfauna aus. Als die Gletscher wichen, zogen aus dem eisfrei gebliebenen Gebiet allmählich auch die Würmer in das früher von den Eisströmen überflutete Land. Doch machten diesen Eroberungszug nur wenig zahlreiche verschleppungs- oder wanderfähige und daher kosmopolitisch verbreitete Arten mit. Sie bevölkern heute ausschließlich das einst vergletscherte Gebiet. Die seit dem Rückzug des Eises verflossene Zeit reichte nicht aus, um endemische Arten entstehen zu lassen. Im eisfreien Gürtel Mitteleuropas und im nicht vergletscherten Süden dagegen blieben während der Glazialzeit die zahlreichen Formen endemischer Regenwürmer unversehrt erhalten. Ihr Stammbaum reicht weit in die präglazialen Epochen zurück.

Gegen diese Theorie erhebt *Bretscher* den Einwand, daß in dem einst ebenfalls stark vereisten Alpengebiet heute zahlreiche endemische Regenwurmarten leben. Gerade in dem früher von Gletschern bedeckten Bezirk der Schweiz erscheinen die lokalisierten Spezialformen der Lumbriciden am häufigsten aufzutreten. Es handelt sich zudem um Arten, die, nach den heutigen faunistischen Kenntnissen wenigstens, benachbarten, einst eisfrei gebliebenen Distrikten fehlen.

Bretscher möchte sich die endemischen Regenwürmer im Alpenbereich als postglazial an Ort und Stelle ihres heutigen Vorkommens entstanden denken. Besonders im Voralpengebiet und in mittleren Höhenlagen hätten sich wohl unter dem Einfluß günstiger Feuchtigkeitsverhältnisse und gefördert durch den reichen topographischen Wechsel der Wohnorte in relativ sehr junger Zeit zahlreiche Arten herausgebildet. Dagegen besitzen die über ganz Europa verbreiteten erdbewohnenden Oligochaeten, auch gemäß *Bretschers* Auffassung, ein präglaziales Alter.

Bei der Beurteilung dieser Fragen ist nicht zu vergessen, daß die einstige alpine Vergletscherung an Ausdehnung neben der nordischen Diluvialvereisung beinahe verschwindet. Das von den Alpengletschern freiwerdende Land konnte relativ rasch und leicht von der postglazial wieder anrückenden Tierwelt von neuem erobert und durchdrungen werden. Zudem boten sich der Tierinvasion von allen Seiten Angriffspunkte, denn das Gletschergebiet der Alpen bildete eine Insel mitten im eisfreien, von der Fauna besetzten Territorium. Die nacheiszeitliche Wiedereroberung des mitteleuropäischen Hochgebirges war ein konzentrisch gerichteter Siegeszug.

Viel ungünstiger für die vordringende Tierwelt lagen die Verhältnisse im Norden, wo ein gewaltiges vom Eis sich entblößendes Gebiet nur auf einer Linie, auf der Südfront, vom vordrängenden Leben in Angriff genommen und besiedelt werden konnte. So mag es sich erklären, daß manche Tiergruppen, denen keine passiven Verbreitungsmittel zu Gebot stehen, in Fennoskandien bis heute nur eine verhältnismäßig spärliche

Vertretung gefunden haben, und daß besonders die skandinavische Gebirgsfauna unter den wirbellosen Festlandbewohnern nur wenig zahlreiche typische Gestalten zählt. Die faunistische Durchdringung des großen nordischen Vergletscherungsareals ist seit dem Abschmelzen des Eises noch nicht weit gediehen: nur der Südrand des gewaltigen einst eisbedeckten Feldes hat sich einstweilen durch Einwanderung wieder reicher bevölkert. Dagegen hat das Leben von dem relativ kleinen und schmalen Glazialbezirk der Alpen in ausgiebigerem Maße Besitz ergriffen. Bald wird sich an einem guten Beispiel zeigen, daß in den einst nur schwach vergletscherten Karpathen der Prozeß der postglazialen Wiederbelebung schon viel größere Fortschritte gemacht hat, als in den Alpen. Die karpathische Käferfauna zeichnet sich gegenüber der alpinen durch weite Verbreitungsbezirke ihrer Komponenten aus. Die Arten fanden in dem rasch eisfrei werdenden Gebiete der Karpathen Zeit, ihre Verbreitungsbezirke zu dehnen, das verleiht der Tierwelt schon jetzt das Gepräge der Ausgleichung und des Gleichgewichtes, das der alpinen und besonders der fennoskandischen Fauna vorläufig noch fehlt.

Vielleicht stellen die endemischen Lumbriciden der Alpen nur die ersten, zentripetal eindringenden Vorboten einer intensiveren Wiederbesiedlung des einst verloren gegangenen Gebietes dar. Spuren solchen Vordringens dürften sich wohl auch am Südsaum des früher vom nordischen Eis bedeckten gewaltigen Areals auffinden lassen. Sie fallen weniger auf, weil die zurückgelegte Strecke des Vormarsches verglichen mit der Dehnung des ehemals vereisten Landes im Norden eine relativ viel kürzere ist als in den Alpen. Absolut gemessen, besitzt vielleicht die Strecke des Eindringens der Lumbriciden in beide alte Gletschergebiete dieselbe Länge: im kleinen Alpengebiet erreicht sie indessen das Zentrum des diluvialen Vereisungsbezirkes, im großen fennoskandischen Glazialfeld überschreitet sie den Grenzgürtel nicht.

Auch die Frage, ob nicht Regenwürmer auf schneefreien Firninseln mitten in der alpinen Eiswüste die Gletscherzeit überdauern konnten, bedarf noch der näheren Prüfung. Wie aber auch die endgültige Antwort ausfallen möge, schon heute läßt sich die eigentümliche geographische Verteilung der Lumbriciden in Europa am besten als unter dem Drucke glazialer Verhältnisse entstanden erklären.

Eine willkommene Bestätigung und vielfache Ergänzung finden die im Alpengebiet gewonnenen Anschauungen über die durch die Eiszeit hervorgerufenen Mischungen und Verschiebungen der Festlandfauna bei der Betrachtung tiergeographischer Verhältnisse von einst weniger stark vergletscherten Gebirgszügen Mitteleuropas. *Holdhaus* und *Deubel* bearbeiteten in jüngster Zeit faunistisch-geographisch die Käferwelt der Karpathen. Das jugendliche Kettengebirge, dessen Hauptfaltung in die Mitte der Tertiärzeit fällt, trug diluviale Gletscher. Doch blieben die Eisströme an Mächtigkeit und an zerstörender Kraft weit hinter den Gletschermassen der Alpen zurück. Am stärksten wuchs die Eisdecke auf der Hohen Tatra

an; aber auch in diesem Gebirgsstock ließ die relativ geringe Massenerhebung und die kontinentale Lage keine ausgiebigere Entfaltung der Vereisung zu. So boten die Karpathen während der Glazialzeit dem Leben um vieles günstigere Bedingungen, als das große, von Eis überflutete Hochgebirge Zentraleuropas.

Noch heute zeichnet sich das karpathische Klima vor dem alpinen durch kontinentalen Charakter aus. Scharfe Gegensätze herrschen zwischen den Temperaturen des Sommers und des Winters, und spärlicher als in den Alpen fallen die Niederschläge. Immerhin genügt die Feuchtigkeit, um einer formenreichen Montanfauna die Existenz zu sichern. In den schattigen Einsenkungen der höchsten Bergflanken liegen lange Zeit, oder sogar jahrein jahraus, umfangreiche Schneeflecken. Am Rande dieser nie versiegenden Feuchtigkeitsbehälter sammelt sich eine reiche nivikole Tierwelt von hochalpinem Gepräge. Die tieferen Hänge aber bekleidet weithin der dichte Mantel der Wälder. Buche und Fichte herrschen vor.

So läßt die geologische Vergangenheit und das heutige Klima der Karpathen vermuten, daß auch in der Tierwelt dieses Gebirges die Erinnerung an die Eiszeit nicht ganz erloschen sei. Das von *Holdhaus* und *Deubel* in meisterhaften Strichen entworfene Bild bestätigt die Erwartung. Schwächer allerdings treten in der karpathischen Käferfauna die durch die Glazialzeit aufgeprägten Züge hervor als in den Alpen; die Linien des Bildes werden unbestimmter, verschwommener. Doch vermag das geübte Auge in der Zusammensetzung und Verteilung der Coleopterenfauna im Karpathengebiet ähnliche Leitlinien zu entdecken, wie sie sich im weiten Alpenareal bestimmter aussprechen.

In eine Grundmasse weitverbreiteter Käfer streuen sich auch in den Karpathen zwei an Zahl zurücktretende, an faunistisch-geographischer Wichtigkeit dagegen dominierende Elemente ein. Das eine sind borealalpine Arten. Ihre eigentümliche Verbreitung teilen sie mit mancherlei Glazialrelikten. Den einen Heimatsbezirk bildet Nordeuropa, den anderen machen die höheren Lagen der mitteleuropäischen Hochgebirge aus. *Holdhaus* steht nicht an, dieses diskontinuierliche Vorkommen als die Folge eines teilweisen Faunenaustausches zwischen Norden und mitteleuropäischem Gebirge während der Glazialepoche zu erklären.

An Formenmenge überragt das zweite in die kosmopolitische Grundmasse eingesprengte Element die wenig zahlreiche borealalpine Gruppe. Es handelt sich um echte Gebirgskäfer, die sich in ihrem Vorkommen an das feste, anstehende Gestein der Bergzüge binden. Die angrenzenden Ebenen bewohnen diese montanen Tiere nur soweit dieselben nicht aus lockerem, aufgeschüttenem Material bestehen; höhere Gebirgslagen, die Nachbarschaft von Gipfel und Kamm, bilden ihre bevorzugte Heimat.

Nach den Ansprüchen an den Wohnort gliedert sich natürlich die typisch montane Coleopterenfauna der Karpathen in mannigfaltiger Weise. Jede ökologische Gruppe aber hängt wieder in hohem Maße vom Gesteinscharakter des Untergrundes ab. Gesteine, die bei der Verwitterung einen

nährstoffreichen Boden von hoher Wasserkapazität liefern, tragen auch die reichste Montanfauna. Bei der lokalen Entfaltung der Käferwelt im Gebirge wirkt in entscheidender Weise die Lage und Neigung der Gehänge mit. Schattige Nordflanken bevölkern sich reicher als sonnseitige Hänge; am vollsten aber gedeiht das montane Käferleben auf dem Grund feuchter und schattendunkler Schluchten und Gräben. Endlich gliedert die Karpathen, wie die anderen mitteleuropäischen Hochgebirge, das Klima in all seiner bunten und mannigfaltigen Wirkungsweise in biologische Höhengürtel. Solcher vertikal sich folgender Zonen unterscheidet *Holdhaus* drei. Den untersten Gürtel beherrscht der Wald; das mittlere Gebiet reicht vom geschlossenen Baumbestand bis zur unteren Schneefleckengrenze; die oberste, hochalpine Zone erstreckt sich so weit, als tierisches Leben emporsteigt.

In ihrer Zusammensetzung weicht die Coleopterenfauna der hochalpinen Karpathenzone von derjenigen der Alpen in eigentümlicher Weise ab. Die Arten der Waldzone herrschen auf den Karpathen im obersten Höhengürtel vor; eigentliche hochalpine Faunenelemente dagegen treten in den Hintergrund, trotzdem die ökologischen Verhältnisse der Jetztzeit ihr Gedeihen erlauben würden. Dieser eigenartige Zustand verlangt eine historische Deutung.

Das milde Klima des jüngeren Tertiär ließ in den Karpathen, im Gegensatz zu den höheren Alpen, eine hochalpine Zone nicht, oder nur in starker Einschränkung entstehen; erst der posttertiäre Klimawechsel führte zur Bildung des obersten Gebirgsgürtels im ökologischen und biologischen Sinn. Noch reichte die Zeit bis heute nicht aus, um in der Kamm- und Gipfelregion der Karpathen eine typisch hochalpine Fauna entstehen zu lassen. Doch regt sich überall deutlich das Bestreben zur Schaffung einer solchen Tierwelt.

So führt die Betrachtung der Montanfauna zurück in entlegene Zeiten, und immer klarer ergibt sich bei weiterem Eindringen in das Gebiet, daß die Zusammensetzung und Verteilung der karpathischen Käferfauna nicht ausschließlich den ökologischen und klimatischen Bedingungen der Jetztzeit gehorcht. Hinter der Gegenwart steht mitbestimmend die Vergangenheit und besonders ihr letztes großes und allgemeines Ereignis, die Gletscherzeit.

Für zoogeographische Untersuchungen liefern die Gebirgskäfer vortreffliches Material. Sehr viele haben ihre Flügel eingebüßt; andere leben blind, an die Scholle geheftet im Dunkel des Erdbodens und der Höhlen. In der heutigen Verbreitung dieser nicht wanderfähigen Tiere spiegeln sich die geographischen und klimatischen Schicksale des Wohnortes wieder. Die flügel- und augenlosen Geschöpfe konnten nicht auf jeden Wechsel der äußeren Verhältnisse durch Flucht antworten. Heute sind sie in ihrem Vorkommen zu Verkündern der Vergangenheit geworden.

Wie zahlreiche andere Tiergruppen trägt auch die rezente Käferfauna der Gebirge Mitteleuropas ein präglaziales Gepräge, und manche Be-

obachtungen und Erwägungen lassen ihren Ursprung weit in die Tertiärzeit zurückverlegen. Alle wichtigen Bestandteile der montanen Käferwelt liegen fossil in tertiären Sedimenten. Aber auch in der heutigen Verbreitung der Gebirgscoleopteren in Europa und seinen Grenzgebieten zwingen zahlreiche Eigentümlichkeiten zur Annahme eines voreiszeitlichen Alters der fraglichen Tiergesellschaft. Durch unübersteigbare Schranken getrennte Gebiete stehen doch heute noch in engem faunistischem Kontakt. Mitteleuropäische Bergmassive, die einst gewaltige Gletschermassen trugen oder dem Rand des einstigen nordischen Inlandseises naheliegen, besitzen in der Gegenwart eine ärmliche Käferbevölkerung. Die Berge Fennoskandiens scheinen sogar der echt montanen Coleopteren ganz zu entbehren. Dagegen beherbergen die einst schwach oder gar nicht vergletscherten Gebirge heute noch den ganzen Reichtum der aus dem Tertiär übernommenen Käferfauna.

Über die Karpathen und ihren tertiären Coleopterenbestand brach die Eiszeit herein. Sie wirkte, wie an anderen Orten und in anderen Tiergruppen, zerstörend und geographisch verschiebend. Manche Art fiel der Vernichtung anheim; andere, mobilere Formen entgingen dem Verhängnis durch Flucht. Neuschöpfende Kraft für die europäische Montanfauna aber wohnte der Glazialperiode nicht, oder nur in beschränktem Maße inne. So sprechen sich denn die Wirkungen der großen Vergletscherung auf die Coleopteren der Karpathen ausschließlich in faunistischen und geographischen Veränderungen aus.

Nach Norden, dem ehemaligen Randgebiet des fennoskandischen Inlandseises zuschreitend, verarmt die montane Käferwelt der Karpathen schrittweise und in beträchtlichem Ausmaß. Doch brachte die nordische Eisfront den Karpathen auch Bereicherung um borealalpine Arten. Für die meisten liegt das Häufigkeitszentrum im hohen Norden; ihr Verbreitungsgebiet umfaßt nicht selten Inseln, welche postglazial mit dem europäischen Festland in keiner Verbindung mehr standen.

Wenn die Coleopterenfauna der Alpen den Einfluß der Gletscherzeit in typischer Weise zur Schau trägt, kehrt dasselbe Bild in den einst nur schwach vergletscherten Karpathen in stark gemilderter Form wieder. Die karpathische Fauna zeigt ein viel einheitlicheres Gepräge, als die alpine; die meisten Arten besetzen weitere und weniger zerrissene Wohnbezirke. Gemäß der wenig ausgiebigen Diluvialvergletscherung der Karpathen bewahrte die Tierwelt des Gebirges in ihrer Verteilung einen Zug relativer Ursprünglichkeit. Das spricht sich in manchen Einzelheiten aus, so etwa im ungestörten Vorkommen der Blindkäfer, deren Verbreitungsgrenze in den Karpathen unvermittelt um mehr als 400 *km* nach Norden vorschnellt. Gerade die Abschwächung des alpinen Faunenbildes im kleineren Eiszeitzentrum der Karpathen spricht für die Richtigkeit der für die Alpen über die biologische Bedeutung der Vergletscherung gewonnenen Resultate.

Die Zoogeographie, die Betrachtung des Vorkommens und der Lebensweise, das Studium fossiler Dokumente der Festlandtiere sprachen noch einmal deutlich für die faunenmischende Gewalt der Eiszeit. Die in breiter

und hoher Front vorrückenden Gletschermauern drängten auf einem schmalen eisfreien Landstreifen nach Herkunft und Lebensgewohnheit Fremdartiges in buntem Gemisch zusammen. Die postglaziale Temperatursteigerung aber, der endliche Rückzug der Gletscher sprengte die aus heterogenen Quellen zusammengeflossene Tierwelt. Sie gestattete den eurythermen, anpassungsfähigen Kosmopoliten Ausbreitung über Berg und Tal des eisfrei werdenden Landes. Die stenothermen Kältetiere aber ließ sie den abschmelzenden Gletscherzungen folgen gegen den Pol und gegen den Gipfel des Gebirges. Losgelöste Splitter der kälteliebenden Tierbestände verbannte die steigende Luftwärme in weit auseinander getrennte Refugien, denen der klimatische und zum Teil landschaftliche Charakter der Eiszeit verblieb, auf Moore und Dünen, in die kühlen Schluchten von Mittelgebirgen und in den gleichmäßig temperierten Moder- und Moosteppich der Wälder.

Tiermischung und Tierwanderung brachte vor allem der Festlandfauna die diluviale Vergletscherung, sie blieb aber auch nicht ohne jeden Einfluß auf den Bau und auf die Lebensweise der ihr unterworfenen Geschöpfe.

Veränderung der Lebensverhältnisse und Isolation vom Hauptstamm abgeschnittener Kolonien führte während der Gletscher- und unmittelbaren Nachgletscherzeit zur Züchtung morphologischer und biologischer Rassen und Varietäten auf dem Festland, wie im Wasser. Es entstanden die dunkelgefärbten Arthropoden des Nordens und der alpinen Schneeregion, die durch bescheidene Dimensionen, Zerbrechlichkeit und monotone Färbung der Gehäuse gekennzeichneten glazialen Nebenformen der Landschnecken, die rauh und dicht behaarten Hummeln des Hochgebirges. Die postglazial nach Norden vorgeschobenen Laufkäfer traten in Varietätenbildung ein, und die im Erdboden in enge Grenzen gebannten Regenwürmer erzeugten endemische, oft noch heute nicht scharf charakterisierte Arten.

Biologisch schuf die Glazialzeit und die postglaziale Temperaturerhöhung aus den in die feuchten und unbelichteten Schlupfwinkel des Waldbodens und des Humus sich flüchtenden Kältetieren Geschöpfe der Dunkelheit von nächtlicher Gewöhnung.

Die großen eiszeitlichen Tierwanderungen aber klingen heute noch leise nach in den sich regelmäßig vollziehenden Reisen nordischer Geschöpfe nach den reicher bestellten Weidegründen des Südens und im Abstieg von Gemse und Schneehase im Hochgebirge vor Winter und Hungersnot in den schützenden und nahrungspendenden Wald.

Auch zum jährlichen Zug der Vögel und zur gewaltigen Wanderung der Lachse aus den Meeren des Nordens nach den Laichplätzen in der Gletschernähe gab wohl die Glazialepoche und ihre nächste Folgezeit den ersten starken Anstoß.

Geologie, heutiges geographisches Vorkommen und ihr biologischer Charakter als stenotherme Kältetiere weisen den lachsartigen Fischen eine nordische Urheimat wohl im arktischen Süßwasser an. Aus dem Polarkreis drängten die wachsenden Gletscher die Salmoniden nach Süden und in das

Meer. Die Laichzeit führte die Wanderer regelmäßig durch die wasserreichen Flüsse gegen die Alpenmauer zur Eiablage im Süßwasser, ihrem alten Wohnelement.

Ebenso regelmäßig aber zwang der Nahrungsmangel im an Leben armen Gletscherbach die Laichzuzüger zum Abstieg an den reich gedeckten Tisch des Ozeans.

So entstand das biologische Bild der regelmäßigen Wanderung als eine Folge der Eiszeit. Im hohen Norden beherrscht das Phänomen noch zahlreiche lachsartige Fische. Sogar gewisse Felchen steigen zur Laichzeit noch vom Meer aus in die Flüsse und Seen des nordischen Festlandes und arktischer Inseln auf. Die nacheiszeitlichen Veränderungen der sekundären Alpenheimat dagegen unterbanden die Wanderstraßen und ließen den Wandertrieb erlöschen. Das reiche postglaziale Schmelzwassersystem von Flußläufen. Lagunen und Kanälen versiegte mehr und mehr. die Ströme wurden reißender, wasserarm und für schwächere Schwimmer unpassierbar. Saiblinge, Forellen und Felchen schlugen eine bleibende zweite Heimat im Alpengebiet auf. Die Coregonen besonders lokalisierten sich, des Wanderns vergessend, in den nördlichen Randseen der Alpen und fanden im Wandel der Generationen Zeit, in jenen Becken, wie in enge Gefängnisse eingesperrt, zahllose lokale Formen und Varietäten zu erzeugen. Nur der gewaltige Schwimmer Lachs durchwandert noch jährlich in eiligem Zug die von seinen Vorfahren seit der Eiszeit beschwommene Straße. Seine Kraft überwindet Wassersturz, Stromschnelle und Felsenenge, welche die postglaziale Zeit der Wanderung hindernd entgegenstellt.

Die ursprünglich nordischen Salmoniden besiedeln heute als echte Trümmer der Eiszeitfauna eine zweite Wohnstätte am Nordrand des zentraleuropäischen Hochgebirges. Sie zeugen als typische Produkte der Eiszeit, um *Simroths* Wort zu brauchen, geographisch, biologisch und morphologisch für die Wirkung der diluvialen Vereisung.

Vom Festlande führte die kurze Skizzierung der mit der Glazialzeit anhebenden und bis heute nicht zur Ruhe gekommenen Wanderungen in das Wasser zurück. Wieder erhellte, welch' vorzüglichen Wohnort das thermisch tief eingestellte und ausgeglichene Süßwasser den Überresten einer eiszeitlichen Tierwelt bietet, und wie konservativ sich in dem flüssigen Medium nicht nur die Formen, sondern vielfach auch die glazialen Gewohnheiten erhalten.

Wenn die Zeit maximaler Vergletscherung Tiere verschiedenen Ursprungs auf dem eisfreien Landstreifen zusammendrängte und vermischte, erlaubte die Abschmelzungsperiode der Eismassen eine Wiederbesiedlung des durch den Gletschervorstoß einst verloren gegangenen Gebietes. Tier- und Pflanzenwelt dehnten ihre Wohnbezirke gewaltig aus. Die einsetzende Temperatursteigerung öffnete die nach dem eisfrei werdenden Mitteleuropa führenden Straßen für den Einzug von an ein wärmeres Klima gewöhnten Organismen: sie zwang aber gleichzeitig auch die Kältetiere zum Rückzug nach Norden, in die Gebirge und zur Flucht in die engumgrenzten

Zufluchtsstätten und keinen Ausweg bietenden Sackgassen der stenothermen Glazialfauna. So brachte das unmittelbare Postglazial neue faunistische Mischung, aber zugleich auch Faunentrennung und Zerreißung. Für die Wasserbewohner erleichterte ein reiches System heute längst verschwundener oder dürftig gewordener Schmelzwasserstraßen die mischenden und trennenden Wanderungen. Mächtige Ströme süßten weithin die Meere aus und schufen für die Organismen des Salzwassers Bahnen in die Binnengewässer. Säkuläre Hebungen und Senkungen verschoben die Grenzen zwischen festem und flüssigem Element; Meere wurden zu Seen und über Seen brach wieder die Salzflut herein. Die geologischen und klimatologischen Ereignisse der Nachgletscherzeit fanden ihren Widerhall in Verteilung, Lebensweise und Bau der ihnen unterworfenen Tierwelt. Manche Arten erlagen dem Wechsel der Lebensverhältnisse; andere retteten sich durch Wegzug; manche endlich paßten sich schmiegsam dem Umschwung an durch Preisgabe des biologischen Charakters und oft auch durch morphologischen Umbau.

Auf die der Eiszeit folgenden Veränderungen der Außenwelt und ihre notwendigen Rückwirkungen auf die Fauna fand sich in den vorhergehenden Zeilen mancher deutliche Hinweis.

Nirgends aber läßt sich die biologische Geschichte der Postglazialzeit aus paläontologischem und geographisch-faunistischem Material klarer erschließen, als im Bereich des Baltischen Meeres. Das Schicksal der Tierwelt verknüpft sich in jenem Bezirk eng mit klimatischen Vorgängen und mit geologischen Zeiträumen angehörenden Vertikalverschiebungen der Erdkruste.

Daß im Ostseegebiet während der Nachgletscherzeit umfassende Hebungen und Senkungen eintraten und ihr Widerspiel in faunistischen Verschiebungen fanden, war bekannt, seitdem *Lovén* in klassischen Arbeiten auf die Gegenwart mariner Tierformen in den schwedischen Süßwasserseen hinwies und die Wohngewässer dieser Meertiere als abgeschnürte Teile der salzigen Ostsee in Anspruch nahm. *Lovéns* Deutung erklärt das Vorkommen mariner Relikten in den Süßwasserbecken rings um das Baltische Meer nur zum Teil. Erst in neuester Zeit fiel auf die gewaltigen geologischen, klimatologischen und biologischen Wechselfälle, die sich postglazial im Bereich der Ostsee abspielten, helles Licht. Es brach sich die Einsicht Bahn, daß sich im Norden Europas seit dem Rückzug der diluvialen Gletscher zu verschiedener Zeit Meerbewohner an das Süßwasser anpaßten und auf verschiedenem Wege ihre heutigen sekundären Heimstätten erreichten. Die marinen Relikten in den baltischen Seen im weitesten Sinn sprechen durch ihre Lebensgewohnheiten, ihre geographischen und systematischen Beziehungen von der wechselreichen postglazialen Geschichte der Ostsee und ihrer Ufer. Das von sehr verschiedenen Gesichtspunkten ausgehende Zusammenwirken dänischer, skandinavischer und deutscher Forscher schuf in der angedeuteten Richtung ein klares Bild.

W. C. Brögger untersuchte die an die Gletscherzeit sich anschließenden Niveauveränderungen in Skandinavien; *Gunnar Andersson* schloß aus

der einstigen und jetzigen Verbreitung des Haselnußstrauches in Schweden auf die säkulären Klimaschwankungen seit dem Rückzug der diluvialen Eismassen und *Sven Ekmann* spürte in den Seen seines Vaterlandes den marinen Tierrelikten nach, welche ihre Gegenwart im Süßwasser dem Wechsel von Hebung und Senkung des Baltischen Meerbezirkes verdanken. Er sammelte seine Erfahrungen besonders am Ekoln, dem nördlichen, 36 *m* tiefen und biologisch sehr selbständigen Abschnitt des Mälaren. Studien über die Fortpflanzung, den Lebenszyklus und die batymetrische Verteilung der Organismen lassen ihn in den Süßwasserbecken Schwedens die Trümmer einer ehemals meerbewohnenden Tierwelt aus verschiedenen Phasen der postglazialen Geschichte der Ostsee erkennen. Auch im dänischen Furesee findet *Wesenberg-Lund* die Anzeichen von drei sich zeitlich folgenden Tiereinwanderungen aus dem Meer. In diesem Fall bedingte wenigstens teilweise wieder das Schicksal der der Ostsee vorausgehenden Gewässer den Übertritt tierischer Wesen in den süßen Binnensee. Zeitliche und örtliche Herkunft der marinrelikten Krebse in den Seen Norddeutschlands stellten in sorgfältiger Weise *Samter* und *Weltner* fest. Ihr Studienfeld bildete vor allem das tiefe Wannenbecken der Madü in Pommern, das gleichzeitig drei Krebsarten von maringlazialem Charakter beherbergt. An *Planaria alpina* endlich und der Art ihres Vorkommens in Rügen zeigte *Thienemann*, welchen Einfluß besonders die klimatischen Veränderungen der Nachgletscherzeit auf reine Süßwasserbewohner gewannen.

Tier- und Pflanzengeographie im Verein mit der Systematik und Geologie beleuchten heute scharf die jüngste Geschichte des Ostseebeckens und das Schicksal seiner Bewohner. Wir wissen nicht nur, daß die Süßwasserseen im Umkreis der Ostsee Tiere von rein marinem Habitus bevölkern, wir kennen auch die verwandtschaftlichen Beziehungen dieser Lebewesen mit den meerbewohnenden Vorfahren und sind imstande, Datum und Verlauf ihres Übertrittes in den See zu bestimmen. Damit hat sich ein gutes Stück der neueren Geschichte der Süßwasserfauna enthüllt und als abhängig von den Folgen der Gletscherzeit erwiesen.

Wechselreiche Schicksale trafen den Schauplatz dieser Faunengeschichte. Als gegen das Ende der Glazialzeit die Gletscher abschmolzen, und die Eismassen des Nordens auf das skandinavische Land sich zurückzogen, trat das Ostseebecken mit dem Weißen Meer in weite offene Verbindung. Es entstand so zur Dryaszeit die kalte, salzige Yoldiasee, in die von Norden her die marinen Tiere der Arktis ihren Einzug hielten. Ladoga- und Onegasee fielen in ihr Gebiet. Den Namen erhielt das Gewässer von der in ihm lebenden Muschel *Yoldia arctica*, die heute noch das Karische Meer bewohnt.

Die Eisfront wich weiter zurück und erreichte den mit Espen, Birken und Fichten sich bekleidenden Strand nicht mehr. Zugleich hob sich das Land; feste Brücken bauten sich im Osten und Westen auf, so daß sich das Yoldiameer gegen die Nordsee und das Eismeer abschloß. Abgetrennte Arme und Buchten wandelten sich in Süßwasserbehälter, und auch

das Hauptbecken, dem gewaltige Ströme von Schmelzwasser zuflossen, verlor seinen Salzgehalt. So entstand im Laufe der Zeiten aus dem offenen Meer der wohlbegrenzte Ancylussee. In jener Phase der postglazialen Epoche mögen sich auch die Stromgebiete des Baltischen Meeres endgültig von den Flußsystemen der Nordsee getrennt haben.

Doch von neuem brach die Salzwasserflut herein von der Nordsee her durch eine weite Pforte über Sund und Belte. Der Ancylussee ward zum Litorinameer, dem eine aus der Nordsee einwandernde Schnecke den Namen gab. Eichenwälder entsproßten jetzt dem Boden Fennoskandiens. Die Litorinazeit charakterisierte eine Temperatursteigerung, die sich vielleicht bis gegen den Alpenwall hin fühlbar machte.

Der Gegenwart zuschreitend, erleidet das baltische Becken weitere Veränderungen. Wieder hebt sich die Landbrücke im Westen und das Tor gegen die Nordsee beginnt sich zu schließen. Es umgrenzt sich die heutige, brackig werdende Ostsee. Die mittlere Jahrestemperatur sinkt und in den Wäldern übernimmt die Buche die Führung.

Niveauverschiebungen, Veränderungen im Salzgehalt und der Temperatur des Wohnortes schrieben der postglazialen Fauna des Ostseebezirkes ihre Zusammensetzung, ihre Wanderungen und einzelnen ihrer Komponenten morphologische Umgestaltungen vor. In das Yoldiameer ergoß sich von Norden her eine Invasion arktischer Tiere. Von dieser einwandernden kälteliebenden Meerfauna verdienen besondere Beachtung die Krebse *Mysis oculata, Pontoporeia affinis, Pallasiella quadrispinosa* und von den Planktoncopepoden eine Form von *Limnocalanus* und von *Eurytemora*. Während die Aussüßung der Yoldiasee der Großzahl ihrer Bewohner *(Yoldia arctica)* Untergang brachte, hielten die genannten Crustaceen dem salzarmen Wasser stand, um den Preis allerdings von mancherlei gestaltlichen Umbildungen. Im sich aussüßenden Wasser entstand die Varietät *relicta* von *Mysis oculata*, und die Vorfahrenform von *Limnocalanus*, einer Gattung, die sich durch weitgehende Anpassungsfähigkeit an das Süßwasser auszeichnet, verwandelte sich in die Nachkommenart *L. macrurus*. Das Genus *Eurytemora* endlich ließ die seenbewohnende Art *E. lacustris* entstehen.

Alle heutigen Wohnorte von *Mysis relicta* in Schweden liegen innerhalb des einst vom Yoldiameer bedeckten Distriktes; sie stellen von jenem Gewässer abgetrennte Reliktenseen dar. Auch für die von *Limnocalanus macrurus* bevölkerten schwedischen Seen läßt sich nachweisen, daß sie einst Buchten und Arme des Yoldiameeres bildeten und ihren heutigen Zustand der Hebung und Aussüßung verdanken. Nur eines der bewohnten Wasserbecken breitet sich oberhalb der höchsten Marke einstigen Meeresstandes aus und muß von *Limnocalanus* auf dem Wege passiver Verschleppung erreicht worden sein.

In Schweden haben *Mysis* und *Limnocalanus* als echte, arktisch-marine Relikte des spätglazialen Yoldiameeres zu gelten. Im Vorkommen und in der winterlichen Fortpflanzungszeit beider Krebse klingt die Er-

innerung an nordischen Ursprung nach. Beide sind Kaltwassertiere, welche die kühlen Tiefen der Wohngewässer aufsuchen; für beide fällt die Vermehrungstätigkeit in die kalte Jahreszeit. *Mysis relicta* pflanzt sich ausschließlich im März im Tiefenwasser bei Temperaturen von 2—3,5° C fort; *Limnocalanus macrurus* gedeiht nur bei einer Temperatur von höchstens 14° C; seine Fortpflanzung vollzieht sich bei 7°. Wie in den vom Yoldiameer abgeschnittenen Reliktenseen Schwedens entstanden auch im Ancylussee, der ja selbst nichts anderes darstellt als einen großen, ausgesüßten Überrest des Yoldiameeres, aus den halophilen Vorfahren die limnophilen Nachkommen von *Mysis* und *Limnocalanus*.

Vollkommen dem Süßwasser paßte sich im Ancylussee die lakustrische Art des sonst marinen Genus *Eurytemora* an. Aus der meerbewohnenden und hochnordischen Stammform wurde im Ancylusbecken ein reines Süßwassertier, das vor der hereinbrechenden Salzflut des Litorinameeres in die Binnengewässer zurückwich. Heute lebt *E. lacustris* in vom Ancylussee abgesperrten Wasserbehältern und in Becken, die der Copepode auf aktiver oder passiver Fahrt erreichen konnte. Schwedische und norddeutsche Seen, die ihre Abflüsse nach dem Ancylussee sandten, beherbergen den Krebs besonders regelmäßig. Das Verbreitungsgebiet umfaßt die baltischen Seen von Finnland und Rußland, streift je an einem Fundort Norwegen und Dänemark, findet die Südgrenze bei Berlin und überschreitet westlich die Elbe nicht. Das Ostseegebiet erscheint so mit aller Deutlichkeit als Zentrum der Entstehung und des heutigen Vorkommens von *Eurytemora lacustris*. Kaum ein anderes Tier, so führt *Ekman* aus, verknüpft sich in der Artentstehung und der Verbreitung so eng mit dem Ancylussee, wie der genannte Copepode. Seine Biologie aber und seine systematischen Beziehungen deuten weiter zurück auf die Meere des hohen Nordens.

Im nördlichen Eismeer leben heute noch die nächsten Verwandten von *E. lacustris,* und heute noch ist der Krebs, nachdem er die so verschiedenartigen Gewässer der Yoldia- und Ancyluszeit bewohnte, in den viel südlicher gelegenen Seen rings um das Baltische Meer typisches Kaltwassertier geblieben.

Passive Verschleppungsfähigkeit von *Eurytemora lacustris* ließ ihren Verbreitungskreis über die Grenzen der mit dem Ancylussee einst irgendwie verbundenen Seen hinauswachsen, und noch immer scheint sich durch zufällige Übertragung von Gewässer zu Gewässer der Wohnbezirk weiter zu dehnen. Der Verbreitungsvorgang ist für *Eurytemora* weiter gediehen als für *Mysis* oder *Limnocalanus*. Er erreicht aber noch nicht die kosmopolitischen Grenzen, welche für die geographische Ausdehnung der alten Süßwassergattungen *Diaptomus* und *Heterocope* gelten. Den marinen Ursprung dieser Genera deuten nur systematische Bänder an; Zeit und Ort des Überganges in das Süßwasser dagegen bleibt verschleiert.

Als Anpassungs- und Umbildungsstätte spielte der Ancylussee eine gewaltige Rolle. *Wesenberg-Lund* steht nicht an, das umfangreiche Wasserbecken das für ganz Europa bedeutungsvolle Akklimatisationszentrum zu

nennen, in dem sich marine Organismen in Süßwassertiere umbildeten. Von diesem Zentrum aus traten die dem salzarmen Element angepaßten Lebewesen aktiv oder passiv, freiwillig oder gezwungen durch geologische und klimatische Ereignisse die Fahrt in die Binnengewässer an.

Samter und *Weltner* kamen zum zwingenden Schluß, daß die Relikten des nördlichen Eismeeres, *Mysis*, *Pontoporeia* und *Pallasiella*, im Verlauf der Spät- und Postglazialzeit im Ancylusbecken aus marinen Tieren zu Süßwasserformen umgebildet wurden und von dort aus mehrere der heutigen Ostseeströme benützten, um in ihr Verbreitungsgebiet in den Seen Norddeutschlands zu gelangen.

Auch in den dänischen Furesee, der zu einer maximalen Tiefe von 40 *m* abfällt, läßt *Wesenberg-Lund Mysis oculata* var. *relicta* G. O. S. und *Pontoporeia affinis* aus dem Ancylussee, vertrieben von dem einbrechenden Salzwasser des Litorinameeres, ihren Einzug halten. Der bekannte Erforscher der Süßwassertierwelt schreibt: „A un moment de l'époque postglaciaire, qui coïncide probablement avec la submersion de l'isthme qui réunissait la Scanie aux îles danoises, vers la fin de la période de l'Ancyle, a eu lieu une nouvelle immigration qui a enrichi la faune du Furesö de deux formes au moins, à savoir *Mysis oculata* var. *relicta* et *Pontoporeia affinis*. Ces deux crustacés, qui ont persisté jusqu'à nos jours, sont des représentants des formes arctiques dont l'immigration dans la mer intérieure Baltique a dû se produire pendant que celle-ci était en communication avec la mer Polaire. Leur adaptation à l'eau douce s'est opérée lorsque la mer intérieure Baltique est devenue le lac à Ancylus, et elle a eu lieu dans ce même lac." Die beiden glazial-arktischen Krebse bewohnen heute das kühle Tiefenwasser des Furesees. *Mysis* schwimmt in Schwärmen unmittelbar über dem Grund, und *Pontoporeia* lebt im Schlamme bis zur größten Tiefe.

Vielleicht zogen die vom Ancylussee ausgesandten Tierwellen noch viel weitere Kreise bis an den Fuß des zentraleuropäischen Hochgebirges. In den großen Tiefen der Seebecken, welche den Nordrand der Alpen begleiten, leben, abgeschnitten von ihren Verwandten, Muschelkrebse und Strudelwürmer von marinem Gepräge. Eine Hypothese läßt diese Cytheriden und allöocölen Turbellarien im Ancylussee aus hochnordischen Meerbewohnern Süßwassertiere werden und von diesem Dispersionszentrum durch das überreiche Schmelzwassernetz der Postglazialzeit auf aktiver Fahrt oder im passiven Fluge der Alpenmauer entgegenwandern. Vom Ufer der subalpinen Seen wären die Zuwanderer in die eisige Tiefe gesunken und hätten sich dort gehalten, nachdem die postglaziale Durchwärmung den flachen Litoralsaum für Kälte suchende Tiere unbewohnbar gemacht hatte. So wäre die von der Ostsee ausgehende Tierwelle erst auf dem Grund der Alpenrandseen zum Stehen gekommen.

Das salzige Mittelmeer der Litorinazeit ließ manche Organismen des Ancylussees aussterben und zwang andere zur Flucht in die Binnengewässer. Es brachte aber aus der Nordsee auch neue, wärmeres Salzwasser

bewohnende Zuwanderer. Zu ihnen zählt der Copepode *Eurytemora velox* Lilljeb. Die Verbreitung des Warmwassertieres erstreckt sich weit über südliche Meere. Als im Lauf der Zeiten eine neue Hebung aus dem Litorinameer die halbsalzige Ostsee schuf, ward auch *E. velox* zum Bewohner des Brackwassers und in abgeschnittenen Buchten des reinen Süßwassers. In schwedischen Seen, die ihren Ursprung auf das Litorinameer zurückführen, lebt *E. velox* weiter. Auch sie ist an solchen Orten ein marines Relikt, aber nicht aus dem arktischen Kaltwasser, sondern aus dem warmen Litorinameer, das von Westen hereinflutete. Und wieder weist die Lebensweise auf die Herkunft des Tieres zurück. *Eurytemora velox* tritt bis heute im brackigen und süßen Wasser nur in der wärmeren Jahreszeit auf; sie verschwindet, wenn die Temperatur unter 8° C sinkt und überlebt die kalten Monate in der Form von Dauereiern. So ergibt sich in der Biologie und in der heutigen geographischen Verbreitung ein scharfer Kontrast gegenüber *Limnocalanus* und *Mysis*. Die Differenzen aber greifen zurück auf tiefgehende Verschiedenheiten der zeitlichen und örtlichen Herkunft.

In der heutigen Ostsee vollzieht sich Tierwanderung und Tierumgestaltung weiter; manche Salzwassertiere der Litorinazeit sterben aus; andere, wie die Muscheln *Cardium* und *Mytilus*, verkümmern. Die Reliktenbildung aber wird im geologischen und klimatologischen Wechsel vom Baltischen Meer ebensogut ausgehen, wie von seinen Vorgängern der Yoldia-, Ancylus- und Litorinaperiode.

In tiefster Wirkung prägt sich die Geschichte des Ostseegebietes seit dem Rückfluß der diluvialen Gletscher im Schicksal der aquatilen Tierwelt aus. Der Süßwasserfauna mengen sich im Norden Europas Überreste verschiedener früherer Tiergesellschaften von in letzter Linie marinem Ursprung bei. Von Deutschland ausgehend und nördlich gegen Skandinavien, Finnland und Rußland vorschreitend, drängen sich die ursprünglich marin-nordischen Elemente immer mehr in den Vordergrund und mischen sich immer bunter mit den zwei die Süßwasserfauna Zentraleuropas sonst bildenden Bestandteilen, den eurythermen Kosmopoliten und den Trümmern einer an tiefe Temperaturen gebundenen Fauna des kalten Gletscherschmelzwassers. In den mitteleuropäischen Seen fehlen die hochnordischen Meerrelikte, oder ihre Gegenwart läßt sich nur hypothetisch in den Tiefen vermuten; im Norden dagegen charakterisieren sie das Plankton, wie die Bewohnerschaft des Grundes und des Ufers.

Auch reine Süßwassertiere scheinen auf die wechselvollen Veränderungen des Ostseegebietes im Postglazial durch Wanderungen geantwortet zu haben. So nimmt *Thienemann* an, daß *Planaria alpina* die kalten Bäche von Rügen schon zur Yoldiazeit bezogen und während der Ancylusperiode ihren Wohnsitz in diesen Gewässern am weitesten ausgedehnt habe. Die Wärme der Litorinaepoche schränkte das Verbreitungsgebiet der stenothermen Kältetiere ein und drängte auch die Alpenplanarie in die tieftemperierten unterirdischen Gewässer zurück. Erst in der kühleren Jetzt-

zeit scheint der Strudelwurm, begleitet von anderen Höhlentieren, einen neuen Vorstoß in die oberirdischen Gewässer zu wagen.

Umstrittener als für die Ostsee und die angrenzenden Länder ist die Geschichte der Landschaft, des Klimas und damit der Tierwelt für Mitteleuropa und besonders für den Bereich der Alpen. Es fehlt nicht an Forschern, die die Zeit der maximalen Ausdehnung der diluvialen Gletscher bis heute als einen ungestörten Übergang von einem sehr ozeanischen Klima in ein mittleres betrachten und annehmen, die klimatische Verschiebung stehe nicht im Zeichen der wachsenden Temperatur, sondern der abnehmenden Feuchtigkeit und der weiter gezogenen Temperaturgrenzen.

Manche faunistische Beobachtungen lassen aber auch die Ansicht nicht abweisen, der Gletscherzeit sei in Mitteleuropa eine Periode der Versteppung, begleitet von einer Tierinvasion aus dem Osten, gefolgt, und die Gegenwart von gänzlich isolierten Kolonien südlicher Tiere, die sich an Wärme und Trockenheit binden, läßt den Gedanken an eine „xerotherme" Periode in den Alpen und in ihrer weiteren Umgebung aufkommen. Diese trockene und warme Epoche würde sich zwischen Gletscherrückgang und Gegenwart einschieben und zeitlich vielleicht mit der baltischen Litorinaperiode zusammenfallen.

Eine neue Temperaturerniedrigung und Feuchtigkeitszunahme brachte die Herrschaft weitausgedehnter Wälder und damit der europäisch-asiatischen Wald- und Weiherfauna.

Auf die Frage nach der Steppenzeit und nach der xerothermen Einwanderung einzutreten, liegt nicht im Plane dieses Aufsatzes. Er möchte sich mit dem Nachweis begnügen, daß seit dem Ausgang des Tertiärs kein Ereignis für die Geschichte der Tierwelt Mittel- und Nordeuropas folgenschwerer wurde, als die diluviale Eiszeit. Nur wenn der Einfluß der großen Vergletscherung berücksichtigt wird, erklärt sich die Zusammensetzung und Verteilung der rezenten, uns umgebenden Fauna, und fällt helles Licht auf Lebensgewohnheiten und Baueigentümlichkeiten mancher ihrer Vertreter. Die Eiszeit bildet einen Markstein und Wendepunkt zugleich in der historischen Entwicklung der aus dem Tertiär stammenden präglazialen Tierwelt. Das Andenken an das gewaltige und lange wirkende geologische und klimatische Ereignis klingt noch heute wahrnehmbar in der Verteilung, dem Leben und dem Bau der Tiere nach, deren Vorfahren die Last der Vereisung tragen mußten.

Der Stand der Aphasiefrage

(unter Berücksichtigung der agnostischen und apraktischen Störungen).

Von **K. Heilbronner**, Utrecht.

Die Beschäftigung mit den als aphasisch bezeichneten Sprachstörungen und den vielfach verwandten und zum Verständnis der Aphasie kaum mehr zu entbehrenden agnostischen und apraktischen Störungen kann unter zweierlei verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen: Ziel der einen Betrachtungsweise ist die Lösung der rein topisch-diagnostischen Frage: auf welche, vor allem auf wie ausgedehnte und lokalisierte Veränderungen des Gehirns gewisse am Krankenbette konstatierte Erscheinungen auf sprachlichem Gebiete zu schließen gestatten: wiewohl natürlich die präzise Beantwortung dieser Frage die Voraussetzung jeder weiteren Beschäftigung mit dem Aphasieproblem wäre, ist sie doch an sich im wesentlichen eine rein ärztliche und in gewissem Sinne praktische: sie ist, wie weiterhin noch zu erörtern sein wird, endgültig nur auf dem Wege statistischer Bearbeitung zu beantworten und würde sich prinzipiell nicht von der Frage nach der „Lokalisation" irgend welcher anderer Symptome (Krämpfe, Lähmungen u. dgl.) im Gehirn oder auch im Rückenmark unterscheiden. So wichtig dieser Teil des Problems auch sein mag und so wertvolle Fingerzeige sich namentlich dem Hirnchirurgen gelegentlich aus der Berücksichtigung aphasischer Störungen ergeben mögen, so ist doch kaum anzunehmen, daß diese praktischen Erwägungen das ganz außergewöhnlich lebhafte Interesse erklären, mit dem die Frage der Aphasie nunmehr ein halbes Jahrhundert lang verfolgt wurde, um so weniger, da gerade die praktischen Folgerungen erst viel später wirklichen Wert gewinnen konnten, als man sich mit der Frage der Aphasie eingehender zu beschäftigen begonnen hatte.

Was die ersten Bearbeiter zu der Frage hinzog, was seitdem — trotz mancher Enttäuschungen — immer wieder neue Kräfte zu der Beschäftigung mit dem Thema lockte, war der andere Gesichtspunkt: daß man in der Lehre von der Aphasie den Schlüssel zu finden hoffte, mit dem sich uns das Verständnis der Lehre von der Sprache und damit des Geschehens im Gehirn in seinem Verhältnis zu psychischen Vorgängen überhaupt erschließen sollte. Gerade die Sprache und ihre Störungen mußten in besonderem Maße geeignet scheinen, dieses Verständnis zu vermitteln:

handelte es sich doch hier gewissermaßen um das Grenzgebiet psychischer und körperlicher Funktion, jedenfalls um eine enge Verbindung beider: so konnte man erwarten, daß die Auffindung von Beziehungen zwischen sprachlichen Vorgängen und cerebraler Lokalisation von viel weittragenderer Bedeutung werden würde, als etwa die Herstellung gesetzmäßiger Beziehungen zwischen einer Lähmung, einem Reflex oder dgl. und bestimmten zentralen Organen, während man andrerseits hoffen durfte, die allgemeinen Gesichtspunkte, die sich aus der Physiologie des Zentralnervensystems ergeben hatten, auch für die Betrachtung der aphasischen Erscheinungen und ihrer Beziehungen zum Gehirn nutzbar zu machen.

Dem entsprechend beschäftigt sich die Aphasielehre auch nicht mit allen vorkommenden oder denkbaren Störungen auf sprachlichem Gebiete, sondern nur mit denjenigen Erscheinungen, in denen sich die besondere Stellung der Sprache auf dem Grenzgebiete körperlicher und psychischer Erscheinungen ausdrückt: es muß nachdrücklich an dem schon von den ersten klassischen Autoren aufgestellten Grundsatze festgehalten werden, daß Störungen der Sprache als Folgezustände rein körperlicher Beeinträchtigung nicht als aphasisch aufgefaßt werden dürfen: eine Aufhebung der Sprache durch Lähmung oder Koordinationsstörung der gesamten Sprachmuskulatur wäre ebensowenig als aphasische Störung aufzufassen, als etwa eine Störung der Sprache durch eine traumatische Schädigung der zum Sprechen nötigen muskulären Apparate: auf rezeptivem Gebiete würden alle Störungen des Sprachverständnisses infolge Herabsetzung der Hörschärfe (gleichwohl ob peripherer oder zentraler Genese) aus der Aphasie ausscheiden; ebensowenig gehören Schreibstörungen durch Lähmung oder Ataxie der Hand oder Lesestörungen durch (gleichviel wie bedingte) Abnahme der Sehschärfe unter die aphasischen Störungen, während im übrigen unter aphasischen Erscheinungen im weiteren Sinne außer den Störungen der Lautsprache auch die analogen der Schriftsprache verstanden zu werden pflegen.

Wird noch hinzugefügt, daß die Sprachstörung auch nicht durch den psychischen Allgemeinzustand des Betroffenen (Bewußtseinstrübung, Geisteskrankheit) bedingt sein darf, eine Einschränkung, die in praxi fast ausnahmslos ohne Schwierigkeiten getroffen werden kann, so ergibt sich daraus — ohne daß der aussichtslose Versuch einer Definition der aphasischen Störungen gemacht wird — eine wohl ausreichende Umschreibung des Gebietes, mit dem sich die Aphasielehre beschäftigt und das im Folgenden behandelt werden soll (die Umschreibung der agnostischen und apraktischen Erscheinungen wird an entsprechender Stelle versucht werden; s. S. 165 ff., 157 ff.).

Die Entwicklung der Aphasielehre, vor allem die Gesichtspunkte, die dabei maßgebend waren, haben dahin geführt, daß vielfach Tatsachen und Theorien in der Darstellung untrennbar zusammenflossen. Abweichend davon soll hier versucht werden, zunächst eine Übersicht über die Tatbestände, d. h. die Resultate der klinischen und anatomischen Beobach-

tungen, zu geben und erst auf Grund dieses Materiales an die Beantwortung der Frage heranzutreten, was wir tatsächlich über das eigentliche, oben gestellte Problem wissen und wissen können.

Die klinischen Tatbestände.

A. Symptomatologie.

I. Expressive Störungen.

1. Expressive Störungen der Sprache.

a) Störungen der Sprechfähigkeit.

Als Sprechfähigkeit sei im folgenden das Vermögen bezeichnet, die zur Hervorbringung von Sprachlauten nötigen Bewegungen auszuführen. Daß ihre Störung nur dann auf die Bezeichnung aphasisch Anspruch hat, wenn sie nicht durch irgend welche lähmungsartige oder sonstige grobe Bewegungsbehinderung bedingt ist, ergibt sich aus den einleitenden Bemerkungen. Die Unabhängigkeit der aphasischen Störungen der Sprechfähigkeit von lähmungsartigen Zuständen beweisen diejenigen — übrigens nicht allzu zahlreichen — Fälle, in denen tatsächlich jede motorische Beeinträchtigung der in Betracht kommenden Muskulatur bei anderen Bewegungen (Zunge oder Zähne zeigen, Blasen, Schlucken etc.) fehlt; daß aber auch die häufig beobachteten rechtsseitigen Paresen im Gebiet des Gesichts- und Zungennerven für die Genese der Aphasie bedeutungslos sind, ergibt sich aus der Erfahrung, daß gleiche Paresen zuweilen rechtsseitig, vor allem aber linksseitig bestehen können, ohne die Sprechfähigkeit überhaupt oder wenigstens im Sinne einer aphasischen Störung zu beeinträchtigen.

Die Aufhebung der Sprechfähigkeit ist eine der längst bekannten und am meisten studierten Formen der Asphasie, sie wurde von *Broca*, dem nicht nur das Verdienst der Lokalisation, sondern auch das der Abgrenzung der Störung zukommt, mit dem neuerdings wieder häufiger gebrauchten Ausdruck „Aphemie" bezeichnet. Die Aufhebung ist in den ausgesprochensten Fällen total; in diesen — selteneren — Fällen produzieren die Kranken kein Wort, ja nicht einmal Laute, sie sind stumm (*Wernicke*). Beruht die Unfähigkeit, zu sprechen, tatsächlich entsprechend der oben gegebenen Umschreibung auf einer Unfähigkeit zur Ausführung der Bewegungen, welche zur Hervorbringung von Sprachlauten nötig wären, so muß sich diese Unfähigkeit stets dokumentieren, gleichviel, wie die Sprechbewegungen ausgelöst werden sollen. Kranke, welche nur spontan nicht sprechen, beim Nachsprechen beim Reihensprechen oder Lautlesen aber zu sprechen vermögen, werden nicht als aphemisch zu bezeichnen sein. Der Minorität wirklich stummer aphemischer Kranker steht eine Majorität anderer Aphemischer gegenüber, die wenigstens einige, wenn auch unverständliche, meist noch spärliche und wenig variable Laute produzieren; eine dritte Kategorie verfügt trotz der sonstigen Sprachlosigkeit über ein oder einige

Worte (ja und nein, den eigenen Namen, die Wiederholung einer Äußerung, die der Kranke im Moment der Erkrankung getan, und gelegentlich bei sonst ganz sprachlosen Kranken im Affekt einen Fluch).

Trotzdem das Erhaltenbleiben solcher, wenn auch beschränkter Leistungen der eingangs gegebenen Umschreibung der Aphemie widerspricht, hat doch die Häufigkeit einschlägiger Beobachtungen dazu geführt, daß die Fälle mit derartigen „Sprachresten" als aphemisch anerkannt zu werden pflegen. Es ist bezeichnend, daß auch der Kranke, dem ein oder einige derartige Sprachreste verblieben sind, in der freien Verfügung über dieselben beschränkt zu sein pflegt. Nur ausnahmsweise, wie in einem der berühmt gewordenen Fälle *Brocas*, kann der Kranke die verschiedenen ihm verbliebenen Sprachreste wahlweise zur Bezeichnung verschiedener Vorstellungsgebiete gebrauchen; die meisten verwechseln unter deutlichen Zeichen des Mißbehagens und der Unzufriedenheit selbst ja und nein; sie sind nicht imstande, ihre Sprachreste auf Verlangen des Untersuchers diesem nachzusprechen, noch weniger, dieselben in einzelnen Silben oder in veränderter Silbenfolge zu sprechen. Was die Kranken tatsächlich sprechen, erscheint aber bezeichnenderweise gut artikuliert, und die Sprachreste der Aphemischen stellen in dieser Beziehung gerade das Gegenstück dar zu den Leistungen von Kranken mit schweren paretisch-koordinatorischen Störungen, die alles, aber alles nur fast bis zur Unkenntlichkeit entstellt und verwaschen zu sprechen vermögen.

Viel schwieriger zu beantworten und viel mehr umstritten als die Frage der totalen Aphemie im oben umgrenzten Sinn ist die nach den partiellen Beeinträchtigungen der Sprechfähigkeit. Namhafte Autoren (*Wernicke, Freud*) haben das Vorkommen einer solchen überhaupt negiert; namentlich die Restitutionsstadien nötigen gleichwohl zur Anerkennung solcher partieller Störungen: man findet dann gewaltsame übertriebene Sprechbewegungen, Mitbewegungen in Gesicht und Extremitäten bis zu stotterartigen Zuständen, verlängerte Latenzzeit, Verlangsamung der Sprache; wahrscheinlich gehören auch noch manche Störungen im Gefüge des Wortes (Buchstaben- resp. Silbenumstellungen und Auslassungen) hierher.

Es muß anerkannt werden, und ein Teil der Differenzen über die Auffassung der Aphemie erklärt sich aus dieser Schwierigkeit, daß zum mindesten ein Teil dieser letztgenannten Störungen ebenso wie durch eine partielle Beeinträchtigung der Sprechfähigkeit auch durch paretische Zustände bedingt sein kann; die sehr wünschenswerte Klärung der Frage, ob hier tatsächlich noch vorläufig nicht festzustellende Differenzen vorliegen, wäre vielleicht von der Heranziehung verbesserter phonetischer Untersuchungsmethoden zu erhoffen.

b) Expressive Störungen bei erhaltener Sprechfähigkeit.

Unter den Kranken mit expressiven Störungen, bei denen also die Fähigkeit der aktiven sprachlichen Verständigung mit der Umgebung ge-

stört ist, bilden die oben umschriebenen Aphemischen einen nur geringen Bruchteil. Bei den meisten Kranken, auch denen, die sich überhaupt nicht mehr verständlich machen können, hat die Sprechfähigkeit als solche nicht gelitten. Ihre Intaktheit ergibt sich zumeist schon aus einer genaueren Würdigung ihrer spontanen sprachlichen Leistungen: wo überhaupt reichlich und vor allem mit reicher Auswahl von Lauten oder Silben gesprochen wird, wird man ungestörte Sprechfähigkeit als sehr wahrscheinlich voraussetzen dürfen; sie wird gesichert, wenn sich im Gesprochenen, wenn auch vielfach vermengt mit Unverständlichem und Unentwirrbarem, über das Maß der oben geschilderten Sprachreste hinaus wohlgeformte Worte, wenn auch an falscher Stelle oder ohne erkennbaren Zusammenhang, nachweisen lassen. Eventuell sind die Leistungen beim Nachsprechen und beim Reihensprechen geeignet, das Erhaltensein der Sprechfähigkeit zu erweisen.

Die Störungen dokumentieren sich am deutlichsten in der Spontansprache, unter welcher Bezeichnung hier und im folgenden alle sprachlichen Leistungen mit Ausnahme des Nachsprechens, Reihensprechens und Lautlesens zusammengefaßt werden sollen. Sie umfaßt außer der eigentlichen Konversationssprache (Antworten auf Fragen, Äußerung von Wünschen, Erzählungen etc.) die bei Aphasischen stets zu prüfende Fähigkeit zur Bezeichnung von Sinneseindrücken.

Prinzipiell zunächst noch nicht von wesentlicher Bedeutung, wenn auch für die Gestaltung mancher Zustände recht charakteristisch sind quantitative Störungen: bei einer Kategorie von Kranken (meist, aber nicht ausnahmslos solchen mit Resten von Störungen der Sprechfähigkeit) eine Reduktion der sprachlichen Leistungen und geringe Neigung zum Sprechen, bei andern eine eigenartige Redseligkeit, namentlich eine Art von „Nichtwiederaufhörenkönnen", sobald der „Sprechmechanismus" einmal in Gang gesetzt ist.

Qualitativ respektive inhaltlich lassen sich zwei Extreme von Sprachstörungen unterscheiden, die sich etwa dahin präzisieren ließen, daß im einen Falle nur geläufige Phrasen mit fehlenden oder nur sehr spärlichen Worten konkreten Inhalts, im anderen fast nur Konkreta unverbunden durch die kleinen Redeteile nebeneinandergestellt auftreten. Ein Beispiel für die letztere Art des Sprechens gibt die lapidare Schilderung einer überstandenen Darmaffektion durch einen aphasischen Kranken: „Vorgestern siebenmal, gestern fünfmal, heute Rumoren in die Kaldaunen" (Eingeweide). Die Erscheinung wird als Agrammatismus (auch Akataphasie, *Kußmaul*) bezeichnet; die von französischen Autoren vorgeschlagene Scheidung in den Depeschenstil mit Erhaltenbleiben der Konjugation und Deklination und den „Style nègre" mit Fehlen derselben läßt sich praktisch kaum durchführen.

Ein Beispiel der anderen häufigeren Form gestörter Spontansprache gibt die Antwort eines Aphasischen auf die Frage nach seinem Befinden: „Ja ich denke, ich denke, daß ich jetzt so ungefähr bin, daß ich jetzt viel

mit anderen so gewissermaßen geradezu". In den meisten Fällen der letzterwähnten Kategorie findet man allerdings zwischen die mehr oder weniger unverständlich zusammengereihten Worte auch Produkte eingeschoben, denen der Wortcharakter fehlt (litterale Paraphasie, Wortentstellungen, Jargonaphasie der französischen Autoren), z. B.: „soll ich was gestecken, ist das Leben gerade ist den Graden gepaßt". Die Häufigkeit ihres Auftretens schwankt nicht nur von Fall zu Fall, sondern auch im gleichen Falle nach Maßgabe psychologischer Bedingungen (namentlich werden sie durch ungeduldiges Fragen und Drängen vermehrt). Es ist theoretisch nicht unwichtig, daß auch in den schwerst entstellten derartigen Produkten gewisse elementare Komplexe erhalten zu bleiben pflegen, aus denen die Muttersprache, nicht selten sogar der Dialekt des Kranken erkennbar ist.

Besseren Einblick in die Sprachleistungen als die Konversationssprache gibt meist die Untersuchung der Fähigkeit zum Benennen, wobei allerdings nicht übersehen werden darf, daß z. B. die Wortfindung von Sinneseindrücken aus der Wortfindung im Gespräche nicht immer parallel gestört zu sein braucht *(Rieger)*. Bei den Benennungsversuchen wird vor allem eine viel behandelte Form der Störung deutlich, die Wortamnesie, die Unfähigkeit des Kranken, gewisse Bezeichnungen zu finden, während er in den reinen und einwandfreien Fällen derart natürlich nicht nur imstande ist, den zu benennenden Gegenstand etc. zu erkennen, sondern auch die ihm genannte Bezeichnung zu verstehen und auf Verlangen nachzusprechen; die Art der Prüfung bringt es wohl mit sich, daß die Störungen in der Bezeichnung konkreter Gegenstände, also im Finden von Substantiven am bekanntesten sind; bei geeigneter Anordnung (Aufgabe, Farben zu bezeichnen, die Bezeichnungen für Tierstimmen anzugeben) lassen sich analoge Störungen meist auch für Adjektiva oder Verba nachweisen. Am schwersten gestört ist zumeist, nicht stets: die Fähigkeit, Eigennamen zu finden: auf diesem Gebiete sind ja der Wortamnesie verwandte Erscheinungen, auch beim Normalen, namentlich im höheren Alter, nicht selten.

In den typischsten Fällen der Wortamnesie begnügt sich der Kranke — ebenso wie der Gesunde in analogen Fällen — damit, sein Unvermögen zum Aussprechen der Bezeichnung zu dokumentieren, und eventuell den Sinn dessen, was er ausdrücken wollte, zu umschreiben. Namentlich wenn man die Kranken drängt, kommt es aber auch beim Benennen zu Fehlprodukten: Wortverwechslungen (verbale Paraphasien) und Wortentstellungen (litterale Paraphasien): beide haben über das Gebiet der Aphasie hinaus allgemeine Bedeutung: es läßt sich unschwer nachweisen, daß in den Wortentstellungen der Aphasischen sich im wesentlichen dieselben Störungselemente geltend machen, die sich in den Produkten des Versprechens ausdrücken *(Meringer* und *Meyer)*: namentlich spielt das Haftenbleiben einzelner Silben respektive Klänge dabei eine erhebliche Rolle (weitere Analogien bieten die Produkte, die gelegentlich beim Gesunden der Versuch zutage kommen läßt, einen vergeblich ge-

suchten Eigennamen „probierend" zu produzieren). Auch bei den Wortverwechslungen macht sich vielfach das Perseverieren vorher gebrauchter (oder bezeichnenderweise auch nur verlangter, aber am richtigen Platze vergeblich gesuchter) Ausdrücke geltend, daneben Erscheinungen, welche der Ideenflucht nahestehen: begriffliche Entgleisungen innerhalb inhaltlich nahe verwandter Gebiete (so die häufigen Verwechslungen von Tiernamen); sehr verbreitet ist die Neigung, an Stelle präziser Bezeichnungen mit sehr engumschriebener Bedeutung vielumfassende Allgemeinausdrücke zu setzen.

Je mehr schon in der Konversationssprache die Wortentstellungen vorherrschen, desto eher wird ein Überwiegen derselben auch bei den Benennungsaufgaben zu erwarten sein; in ganz schweren Fällen kann es sogar zweifelhaft werden, wie weit man in den sprachlichen Leistungen der Kranken den Versuch zur Lösung der gestellten Aufgabe, ja überhaupt eine Reaktion auf die Stellung einer Aufgabe zu erblicken hat. Die unter den verschiedenen Gesichtspunkten dringend zu wünschende genauere Durchforschung gerade der schwereren Störungsformen steht im wesentlichen noch aus und scheitert zunächst noch an der Schwierigkeit der Fixierung des Geleisteten, die jedenfalls die Anwendung sehr genau arbeitender Phonographen voraussetzen würde. Zunächst ist noch nicht einmal festgestellt, ob die hier behandelten schwersten Paraphasien gegenüber denen bei Störungen (aber nicht totaler Aufhebung) der Sprechfähigkeit prinzipielle Verschiedenheiten darbieten.

Eine andere Schwierigkeit, die sich übrigens auf zahlreichen anderen Gebieten der Aphasielehre in gleicher Weise geltend macht und auch wegen ihrer Bedeutung für die gesamte Auffassung der Verhältnisse nicht nachdrücklich genug betont werden kann, liegt in der Inkonstanz der Untersuchungsergebnisse: es gibt allerdings schwerste Fälle oder wenigstens Stadien, in denen z. B. jeder Benennungsversuch mißlingt; wo aber überhaupt ein Rest dieser Fähigkeit verblieben ist, läßt sich, genügend eingehende Prüfung vorausgesetzt, immer wieder feststellen, wie ein Wort, das eben noch zur Verfügung stand, gleich darauf fehlt, ein anderes zunächst lange vergeblich gesuchtes sich bei späterer Gelegenheit einstellt; auch die Fehlprodukte pflegen zu variieren, wenn auch in manchen Fällen gewisse Aushilfsprodukte längere Zeit hindurch bevorzugt werden oder einzelne Fehler sich zu stabilisieren pflegen.

Unter dem Nachsprechen, dessen Prüfung begreiflicherweise von altersher eine große Rolle bei der Untersuchung der Sprechleistungen Aphasischer gespielt hat, werden eine Reihe von Leistungen zusammengefaßt, die, psychologisch verschiedener Dignität, wahrscheinlich auch bei der Deutung der klinischen Befunde und ihrer Beziehung auf die nachgewiesenen Läsionen verschieden zu verwerten sein werden. Auf der einen Seite steht die „Echolalie", ein geradezu zwangsmäßig, unabhängig von jeder entsprechenden Aufgabestellung auftretendes Nachsprechen, das, so häufig es auch bei Aphasischen vorkommt, nicht eigentlich von der aphasischen Störung, sondern von einer psychischen Allgemeinschädigung (Be-

nommenheit, Verblödung) abhängig zu sein scheint. (Analogien finden sich in der Schlaftrunkenheit und in schweren Rauschzuständen.) Von da führen mannigfache Zwischenformen über das „fragende Nachsprechen“ zu der Form, welche den eigentlichen Gegenstand der Prüfung zu bilden pflegt: dem Nachsprechen auf Geheiß, wobei also dem Kranken ausdrücklich die Aufgabe gestellt ist, Vorgesagtes zu wiederholen. Das Resultat kann bei den verschiedenen Modifikationen des Nachsprechens verschieden ausfallen. Die Prüfung auf die Fähigkeit des Nachsprechens ist deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil das Erhaltenbleiben desselben auch nur in einer der erwähnten Modifikationen, den — sonst vielfach nicht zu erbringenden — Nachweis für die Intaktheit der Sprechfähigkeit im oben umschriebenen Sinne liefert; (daß die Unfähigkeit, nachzusprechen, nicht auf eine Aufhebung der Sprechfähigkeit zu schließen gestattet, lehrt schon eine ganz oberflächliche Erwägung der — weiterhin noch zu erörternden — Bedingungen, an welche die Funktion des Nachsprechens gebunden sein muß).

Fehler, zumeist Wortentstellungen, treten beim Nachsprechen gewöhnlich noch reichlicher auf als beim Spontansprechen (auch Benennen); der im einzelnen durchgeführte Vergleich zwischen Aufgabe und Resultat würde gerade beim Nachsprechen vermutlich noch sehr wertvolle, wieder über das Gebiet der Aphasieforschung hinaus bedeutsame Resultate ergeben; auch hier fehlt es an einer ausreichenden Methodik der Fixierung. Nicht unwichtig für die Auffassung des Mechanismus des Nachsprechens ist die gelegentlich zu machende Beobachtung, daß beim Nachsprechen auch Wortverwechslungen vorkommen können, in demselben Sinne, in dem beim Benennen Fehler gemacht werden; der einfachste Fall derart ist es, wenn Kranke statt einer vorgesagten Zahl zwar wieder eine Zahl, aber eine andere als die genannte, produzieren — einer der häufigen Fälle, in denen gewissermaßen eine Einstellung auf einen Vorstellungskomplex zu erfolgen scheint und im Gebiete desselben mit einem beliebigen Gliede reagiert wird, eine Erscheinung, die ebenso wie hier beim Nachsprechen auch später bei anderen Leistungen (Lesen, Schreiben) zu erwähnen wäre. Daß viele Kranke nur nachzusprechen vermögen (oder sich entschließen?), was sie auch verstanden haben, scheint psychologisch verständlich zu sein, wenn auch ausdrücklich betont sei, daß in der Mehrzahl der Fälle die Fähigkeit, nachzusprechen, an das Verständnis des Vorgesprochenen nicht gebunden ist; a priori weniger verständlich, gleichwohl noch recht häufig ist aber die Beobachtung, daß auch Kranke, denen jedes Verständnis für das Vorgesprochene zu fehlen scheint, im Nachsprechen noch zwischen geläufigen Worten etc. einerseits und unbekannten (Fremdworte, sinnlose Buchstabenkombinationen) andrerseits scheiden: die ersteren gut nachsprechen, an den letzteren scheitern.

Die Bedeutung des Reihensprechens, die schon von *Broca* betont wurde, ohne daß der Prüfung der Symptome bis vor kurzem wesentlicher Wert beigelegt worden wäre, liegt im wesentlichen darin, daß sein Er-

haltensein wieder die Intaktheit der Sprechfähigkeit beweist: dabei lassen sich manche Reihen (vor allem die Zahlenreihe, wohl auch Gebete) durch Gesten auch aus solchen Kranken extrahieren, bei denen die Prüfung des Nachsprechens zu keinem positiven Resultat mehr führt. Die Beobachtung, wie Kranke, die sonst nur mehr unverständliche und unentwirrbare Paraphasien produzieren, tadellos etwa von 1—100 zählen oder ein langes Gebetstück aufsagen, hat auch für den Erfahrenen immer wieder etwas Überraschendes. Es ist bezeichnend, daß diese Reihen meist nur als Ganzes abzulaufen vermögen: wird der Kranke gestört oder unterbrochen, so ist er meist außerstande, an der Unterbrechungsstelle fortzufahren. Im übrigen haben die Fehler beim Nachsprechen noch keine wesentliche Bedeutung erlangt.

2. Expressive Störungen auf nichtsprachlichem Gebiete (apraktische Störungen).

Seit sehr langer Zeit war es bekannt und immer wieder betont worden, daß es Störungen auf nicht eigentlich sprachlichem Gebiete gibt, die den aphasischen gleichwohl sehr nahe stehen und zu einer analogen Auffassung drängen. Hierher gehören insbesondere jene als Amimie, respektive Paramimie bezeichneten Störungen der Geberdensprache, auf deren prinzipielle Bedeutung und Beziehung zur artikulierten Sprache schon *Broca* nachdrücklich hingewiesen hatte. Wenn Kranke trotz ungehinderter Motilität statt „ja" zu nicken „nein" schüttelten, so lag die Analogisierung mit den sprachlichen Fehlleistungen im engeren Sinne so nahe, daß man lange Zeit weitergehende analoge Störungen nur dadurch erklären zu können glaubte, daß man sie gleichfalls unter die Störungen der Gestensprache subsumierte: eine den heutigen Anschauungen entsprechende Auffassung schien sich allerdings immer wieder vorzubereiten: schon 1871 — 10 Jahre nach *Brocas* Auftreten, einige Jahre vor *Wernickes* Eingreifen in die Aphasielehre — hatte *Steinthal* den Begriff der „Apraxie" geschaffen, einer Störung, die er dahin definierte, daß „nicht die Bewegung des Gliedes an sich gehemmt sei, sondern die Beziehung der Bewegungen auf den zu behandelnden Gegenstand, die Beziehung des Mechanismus auf den Zweck gestört sei" und die er auch durch einige bezeichnende Beispiele zu belegen wußte. Später hat *Meynert* in seiner „motorischen Asymbolie" Analoges zu umschreiben versucht; die unzureichende klinische Illustration der theoretischen Ableitung mag es verschuldet haben, daß die Frage kein allgemeineres Interesse erregte; sie wurde zwar in der Schule *Wernickes* gelegentlich wieder erörtert, allgemeine Bedeutung gewann sie aber erst, nachdem *Liepmann* an der Hand eines besonders instruktiven Falles die Verhältnisse eingehender untersucht und namentlich die Methodik der Untersuchung in sehr wertvoller Weise vervollkommnet hatte. Im Laufe der letzten 10 Jahre haben gerade diese apraktischen Störungen, im weitesten Sinne Störungen des Handelns, die weder durch Lähmung, noch durch psychische Störungen bedingt sind, eine sehr eingehende Be-

arbeitung gefunden. Sie sollen hier, soweit möglich, analog den aphasischen geschildert werden.

a) Bewegungsausfall und Bewegungsentstellung.

Ob es einen allgemeinen apraktischen Bewegungsausfall gibt, der in jeder Hinsicht als das Analogon der Aphemie (s. o.) aufgefaßt werden darf, muß dahingestellt bleiben. Auf umschriebenem motorischem Gebiete scheint eine jedenfalls sehr nahe verwandte Störung vorzukommen in Form der zuerst von *Nothnagel* beschriebenen Seelenlähmung, die er dahin umschreibt, daß der Kranke zwar seinen Arm habe, ihn auch bewegen könne, daß er ihm aber unter gewissen Bedingungen (z. B. bei geschlossenen Augen) zum unbrauchbaren Instrument geworden sei. Einschlägige Fälle sind sicher selten; sehr häufig aber beobachtet man ein gewissermaßen rudimentäres Auftreten der Erscheinung in Form verringerter Spontaneität; sie wird sich als apraktische am einwandfreiesten darstellen, wenn sie nicht die gesamte Motilität, sondern, wie zuweilen beobachtet wird, nur eine Seite, respektive eine Extremität betrifft, während die andere prompt agiert, so daß also der sonst nicht immer ganz leicht zu widerlegende Einwand, die mangelnde Initiative sei die Folge eines reduzierten allgemeinen psychischen Zustandes, von selbst entfällt. Die mangelnde Initiative kann soweit gehen, daß die Kranken sich nicht einmal mehr entschließen (sehr wohl eventuell auf Verlangen imstande sind!), in die Hand gestopfte Gegenstände, auch wenn sie ihnen sichtlich unbequem sind, wegzulegen, und daß sie Stellungen, die ihren Gliedern passiv erteilt sind, nicht wieder korrigieren, so daß also Bilder zustande kommen, wie bei der sogenannten Flexibilitas cerea mancher Geisteskranker, ein lehrreicher Hinweis auf die Stellung der hier besprochenen Zustände an der Grenze gegen die psychischen Störungen.

Außerordentlich charakteristisch, dem Erfahrenen geradezu pathognomonisch, aber ebenso schwer zu beschreiben sind die apraktischen Bewegungsentstellungen. Sie erinnern in manchem an die seltsamen Bewegungsleistungen, die auch beim Gesunden der Versuch zutage fördert, ungewohnte Bewegungskombinationen (etwa Schlittschuhlaufen oder die Ausführung einer Vexieraufgabe) zu produzieren. Tatsächlich betreffen sie auch nur die komplizierteren und speziell erlernten Bewegungskombinationen, während die elementaren „Synergien", wie etwa der Handschluß, ungestört ablaufen. Sie treten am deutlichsten in die Erscheinung beim objektlosen Agieren; verlangt man etwa vom Kranken eine Grußbewegung, so sieht man ihn wohl den Arm erheben, daran aber schließen sich oft sehr groteske, vertrakte *(Liepmann)* Bewegungen, probierende Bewegungen der Finger, Verrenkungen der großen Gelenke, geradezu „Grimassen der Extremitäten", meist begleitet von lebhaften Unwillens- und Verwunderungsäußerungen des Patienten. Die Intaktheit der eigentlich exekutiven Apparate, der Motilität im engeren Sinne, wird dabei vor allem in denjenigen Fällen deutlich, in denen die vorher ver-

geblich versuchte Bewegung zuletzt entweder nach langem Mühen oder — nicht selten — „von selbst“ gelingt, wenn z. B. der Kranke, der zunächst sich vergeblich an der Grußbewegung auf Geheiß abgerackert, einem Vorbeigehenden durchaus korrekt zuwinkt. Im Gegensatz zu der älteren Auffassung, die nur die Gebärdensprache prüfte und daher auch nur deren Störungen kannte und registrierte, kann behauptet werden, daß die Geberdensprache als solche hinter den übrigen „praktischen“ Leistungen nicht zurückzubleiben pflegt, wenigstens soweit die Geberdensprache nicht nur examensmäßig geprüft, sondern tatsächlich als Ausdrucksmittel verwandt wird. Ganz allgemein pflegen alle Leistungen bei Apraktischen beim schulmäßigen Examen schlechter auszufallen, am schlechtesten, wenn die Leistungen nur gedächtnismäßig, also zumeist auf mündliche Aufforderung ausgeführt werden sollen. Es ist das Verdienst *Liepmanns*, den für die ganze Auffassung der apraktischen Störungen bedeutsamen Nachweis geführt zu haben, daß echt apraktische Störungen aber auch beim Nachahmen und — wenn auch seltener und weniger ausgesprochen —, auch beim Manipulieren am Objekt vorkommen können. Gerade die Störungen der Bewegungsnachahmung unter verschiedenen Modifikationen — in Betracht kommt vor allem die Unterscheidung, ob der Kranke imstande ist, fremde Bewegungen mit einer, respektive beiden Extremitäten nachzuahmen, und ob er andrerseits passiv erteilte Stellungen der einen Extremität bei offenen oder geschlossenen Augen mit der anderen nachahmen kann — sind vielleicht berufen, uns noch einen Einblick in manche Details zu eröffnen.

Am häufigsten, jedenfalls am leichtesten zu studieren und am besten bekannt sind die apraktischen Störungen der oberen Extremität; sie sind besonders typisch in den Fällen einseitiger Apraxie, von denen die mit Lähmung, respektive Paresen der rechten Seite kombinierten Formen linkseitiger Apraxie (respektive in den leichteren Fällen Dyspraxie), auf die gleichfalls *Liepmann* die Aufmerksamkeit gelenkt, für die ganze Auffassung der Apraxie und der Aphasie grundsätzliche Bedeutung gewonnen haben. Apraktische Störungen der unteren Extremitäten sind seltener beobachtet, man kann aber z. B. sehen, daß ein Kranker mit ganz intakter Motilität und ungestörtem Gange etwa der Aufgabe, sich zu bücken, ratlos gegenübersteht und statt derselben die unglaublichsten Dreh- und Strampelbewegungen ausführt. Besser bekannt sind apraktische, dann meist doppelseitige Störungen im Bereich der Gesichts- und Kopfmuskulatur. Unfähigkeit, zu pfeifen, zu blasen, zu pusten, auch manche vermeintliche paretische Schluckbehinderung läßt sich unter geeigneten Untersuchungsbedingungen als apraktisch eruieren. Gerade unter Berücksichtigung derartiger Erfahrungen gelangt man zu einer sich sehr wohl in den Rahmen dieser ganzen Betrachtung fügenden Auffassung der Aphemie, der Sprechunfähigkeit des Aphasischen: sie läßt sich auffassen als Apraxie der höchstdifferenzierten Leistungen der Zungen-, Lippen-, Kehlkopf- usw. Muskulatur, die ihre quantitative Sonderstellung

eben dadurch erweist, daß sie besonders häufig total ist, d. h. zur vollständigen Aufhebung der Funktion führt.

Als eine weitere spezifische Form der Apraxie dürfen manche Schreibstörungen aufgefaßt werden; sie werden bei der Behandlung der Agraphie zu erörtern sein. endlich wäre noch mancher Störungen im Gebrauch musikalischer Instrumente (instrumentelle Amusie) zu gedenken, die als Apraxie der oberen Extremitäten (z. B. für Streichinstrumente) oder der Lippen-. Mundmuskulatur (Blasinstrumente) aufgefaßt werden kann, demnach wieder als Störung ganz spezifisch differenzierter und darum wohl schweren Schädigungen besonders ausgesetzter Leistungen.

b) Bewegungsverwechslung.

Da die Leistungen, welche bei der Untersuchung auf Apraxie geprüft werden, vielfach kein so in sich abgeschlossenes Ganzes darstellen, wie das Objekt der Aphasieprüfung, das Wort, so ergeben sich für die Scheidung zwischen Bewegungsentstellung und Bewegungsverwechslung größere Schwierigkeiten: wenn z. B. der Kranke, der eine Winkbewegung ausführen sollte, die Hand zur Faust schließt, kann es zweifelhaft bleiben, ob es sich um eine Bewegungsentstellung oder eine Bewegungsverwechslung handelt.


Fig. 70.



Einwandfreie Bewegungsverwechslungen kommen auch hier wieder auf perseveratorischem Wege — durch Wiederholung vorher schon gemachter, respektive verlangter Bewegungen zustande: ganz besonders charakteristische Bilder ergeben sich in Fällen einseitiger Apraxie, wenn die apraktische Extremität von einer einmal begonnenen Aktion nicht loskommen kann, während die gesunde in ihren Leistungen der jeweils gestellten Aufgabe folgt. Im ganzen scheinen übrigens perseveratorische Fehl-

leistungen um so seltener, je ausgesprochener im übrigen die Bewegungsentstellungen sind. Die typischsten Bilder von Bewegungsverwechslungen findet man ganz allgemein bei solchen Kranken, bei denen die Bewegungsentstellung nicht sehr hochgradig ist, und bei denen man demnach auch das Manipulieren mit Objekten prüfen kann. Als einfachster Fall derart darf es vielleicht aufgefaßt werden, wenn der Kranke den Gegenstand, mit dem er manipulieren sollte, eventuell auch einen beliebigen anderen, der ihm im vollsten Wortsinne „in die Hand kommt" (einen Zipfel des Rockes oder der Bettdecke, eventuell den eigenen Daumen), umgreift und

Fig. 71.



nicht mehr oder erst mit großer Mühe los werden kann: gerade verständige Kranke pflegen unter derartigen Erscheinungen, die nicht nur nach dem objektiven Anschein, sondern auch nach dem subjektiven Empfinden des Betroffenen „die Hand" ohne Intervention des Individuums zu vollbringen scheint, sehr erheblich zu leiden.

Andere Bewegungsverwechslungen kommen zustande, wenn der Kranke in der Ausführung einer Bewegung begriffen, in eine nicht motorisch verwandte entgleist, z. B. mitten im Schälen eines Apfels diesen plötzlich durchschneidet; in anderen Fällen kann man von „im engeren Sinne

associativen" *(Bonhoeffer)* Entgleisungen sprechen], wenn etwa der Kranke eine Haarbürste als Kleiderbürste benutzt; es kann schon hier fraglich sein, ob diese Störungen noch als expressive im engeren Sinne aufzufassen sind, wie weit dabei — wenigstens temporär — ungenügende Auffassung der zu manipulierenden Objekte (s. u. Agnosie) mitwirken mag. Noch mehr gilt dies für die sehr merkwürdigen Bilder, die zustande kommen, wenn man von den Kranken Manipulationen mit einer Mehrzahl zusammengehöriger, namentlich rasch wechselnder Gegenstände verlangt: der Versuch, etwa eine Pfeife zu stopfen und anzurauchen, fördert dann die seltsamsten Verwechslungen der einzelnen Teile, Vornahme der einzelnen Akte an falschen Teilen, Irrtümer in der Aufeinanderfolge der einzelnen Akte, Auslassungen notwendiger, oft gerade der den Erfolg herbeiführenden Akte (im vorliegenden Falle etwa das Entzünden des Tabaks) zutage. Gerade die Ergebnisse derartiger Versuche, so typisch sich das Gesamtbild darstellt, pflegen im einzelnen außerordentlich zu schwanken, so daß eine eben mißlungene Leistung im nächsten Augenblick gelingt und der Kranke bei einer anderen, die eben gelang, gleich darauf versagt. Als einigermaßen charakteristisch mag es auch hier gelten, daß — wohl nicht ausschließlich wegen der dabei absichtlich gesetzten größeren Komplikation der Untersuchungsbedingungen — die Resultate bei der speziellen Prüfung am schlechtesten ausfallen; im täglichen Leben pflegen sich die Störungen vielfach so wenig zu dokumentieren, daß sie übersehen werden können und tatsächlich auch oft übersehen worden sein mögen: die genauere Kenntnis dieser Zustände, namentlich aber von ihrer Häufigkeit ist relativ jüngeren Datums. Fig. 70 und 71 veranschaulichen zwei charakteristische Stadien aus einer derartigen Prüfung.

II. Rezeptive Störungen.

1. Rezeptive Störungen auf sprachlichem Gebiete.

Die bisher behandelten expressiven Störungen erlauben eine direkte Beobachtung, eventuell auch Analyse mit verfeinerten Darstellungsmethoden, von deren Anwendung, wie oben angedeutet, eventuell noch eine Vertiefung unserer Einsicht in das Wesen der Störungen zu erwarten ist. Die rezeptiven Störungen sind einer derartigen unmittelbaren Beobachtung nicht zugänglich; sie können nur von dem Betroffenen berichtet oder, wenn er — häufig genug — dazu nicht imstande ist, aus seinen positiven oder negativen Reaktionen erschlossen werden; der Beobachter wird sich insbesondere vielfach mit der bloßen Konstatierung eines Ausfalles begnügen müssen, ohne über das, was im Kranken vorgeht, Auskunft zu erhalten.

Die rezeptiven Störungen auf sprachlichem Gebiete stellen sich dem Beobachter dar als Störungen des Sprachverständnisses: diese sind im Sinne der eingangs gegebenen Umschreibung als aphasische nur dann anzusprechen, wenn die dem Kranken zur Verfügung stehende Hörschärfe zum Verstehen hinreichen würde; ihre Bestimmung läßt sich nach den

von *Bezold* angegebenen Grundsätzen ausführen und darf in zweifelhaften Fällen nicht unterlassen werden: wo die Störung partiell ist (d. h. teilweise verstanden wird), beweist allerdings dieses Verständnis, daß das Versagen bei anderen Aufgaben, die gleiche Anforderungen an die Hörschärfe stellen, nicht Folge mangelnder Hörschärfe sein kann.

Die Störung des Sprachverständnisses kann sich in einer Reihe von Modifikationen darstellen, die zunächst als graduelle imponieren; ob dieser Eindruck den wirklichen Verhältnissen entspricht, erscheint noch unsicher.

Als schwerste Störung des Sprachverständnisses, die gewöhnlich auch mit völliger Aufhebung des Verständnisses für den Inhalt des Gesprochenen gepaart zu gehen pflegt, kann eine lange bekannte, als akustische Unerweckbarkeit zu bezeichnende Störung betrachtet werden: die Kranken schenken sprachlichen Eindrücken spontan keine Beachtung, während ihre gute Aufmerksamkeit für anderweitige akustische Reize, ebenso die Resultate der speziellen Untersuchung mit Sprachreizen, die Intaktheit, wenigstens Suffizienz des Gehörorgans erweist. Auch wo sich noch kein Sprachverständnis im engeren Sinne nachweisen läßt, ist doch in manchen Fällen bei geeigneter Untersuchung festzustellen, daß die Kranken den Tonfall, die Melodie der Sprache so weit aufzufassen wissen, daß sie z. B. zwischen Aufforderungen und Fragen zu unterscheiden vermögen; in ganz schweren Fällen fehlt auch diese Fähigkeit. In anderen Fällen stellt das Maximum der erhaltenen Leistung die Fähigkeit der Kranken dar, etwa noch die Zugehörigkeit, respektive Nichtzugehörigkeit einer gestellten Frage zu einer bestimmten Sprache zu erkennen, wenn er z. B. ein Eingehen auf Fragen oder Aufforderungen in einer ihm fremden Sprache ablehnt, oder — im Besitz mehrerer Sprachen — auf die unverstandenen, in verschiedenen Sprachen gestellten Fragen doch jeweils in der zugehörigen Sprache zu antworten versucht.

Bezüglich des Sprachverständnisses im engeren Sinne müssen zunächst zwei Störungsformen geschieden werden, solche, in denen schon die Auffassung der Laute, respektive Lautfolgen gestört zu sein scheint, und solche, in denen bei ungestörter Auffassung der Worte als Lautfolgen, das Verständnis für den Inhalt fehlt; erst neuerdings scheint auch die Störung des Satzverständnisses (bei erhaltenem Verständnis für die Einzelworte) Bedeutung zu gewinnen.

Soweit sich darüber von einzelnen Kranken Auskunft gewinnen läßt, scheint es bei der erstgenannten schwersten Form statt zum Hören von Buchstaben und Worten nur zur Wahrnehmung wenig differenzierter, einigermaßen elementarer Geräusche zu kommen; meist wird man mangels genügender Verständigungsmöglichkeit den Ausfall der korrekten Lautwahrnehmung nur erschließen können, oder die Frage in suspenso lassen müssen. Ihr Erhaltensein wird in den Fällen gesichert, in denen der Kranke das Gehörte einwandfrei als von früher bekannt (wenn auch inhaltlich unverständlich!) bezeichnet; in diesen Fällen kann zutreffenderweise von

Erhaltensein des Wortlautverständnisses gesprochen werden: nicht mit gleichem Rechte geschieht das wohl in einer anderen wichtigen Kategorie von Fällen, in denen die Kranken unverstandene Worte, eventuell wieder unter verschiedenen Modifikationen nachzusprechen imstande sind, womit zwar eine korrekte Aufnahme des Vorgesprochenen, aber wohl nicht ohne weiteres ein Verständnis, sei es auch nur für die Lautfolge, erwiesen sein dürfte.

Besonders reich differenziert erscheinen die Störungen des Wortsinnverständnisses, die sich am leichtesten und einwandfreiesten prüfen lassen, wenn dem Kranken die einfache Aufgabe gestellt wird, unter einer größeren Anzahl von Gegenständen (oder Abbildungen) einen genannten zu zeigen. Die verschiedenen, hier im Detail nicht aufzuführenden Störungen von einer eben konstatierbaren Verlangsamung des Verständnisses bis zu dessen voller Aufhebung und die Bedingungen, unter denen das Verständnis erleichtert oder erschwert werden kann, bieten ein weit über das Gebiet der Aphasie- oder der Sprachforschung überhaupt hinausreichendes Interesse; *Arnaud*, neuerdings *A. Pick* haben sich um die Klarstellung der Verhältnisse bemüht. Die Schwankungen der Resultate von Untersuchung zu Untersuchung und die Neigung der Kranken zum Raten erschweren schon die Statusaufnahme im Einzelfalle.

Noch mehr gilt das für die Prüfung des Satzsinnverständnisses; sie kann natürlich ernsthaft nur in Frage kommen, wo das Sinnverständnis für Einzelworte einigermaßen erhalten ist; in diesen Fällen wird allerdings ein Verständnis für den Satzsinn oft dadurch vorgetäuscht, daß der Kranke, was ja oft sehr leicht ist, aus wenigen Worten durch eine Art Telegrammverständnis den Sinn errät: macht man das durch die Formulierung unmöglich, dann lassen sich oft unerwartet schwere Störungen noch lange nachweisen: eine elegante Prüfung des Satzsinnverständnisses gestattet die von *P. Marie* angegebene Probe: man gibt dem Kranken drei verschieden gestaltete Papierchen und fordert ihn etwa auf, das viereckige zu zerreißen, das dreieckige einzustecken und das runde dem Untersucher zurückzugeben; schon hier kann es aber im Falle des Mißlingens fraglich sein, ob dabei nicht außer aphasischen (und eventuell komplizierenden apraktischen) Störungen noch weitergehende, im engsten Sinne psychische Momente (Störungen der Merkfähigkeit) wirksam sind; das gleiche gilt bezüglich der von ganz leicht Aphasischen oft geäußerten Klagen, daß sie längeren Auseinandersetzungen, namentlich aber den Gesprächen einer Mehrheit von Personen nicht zu folgen vermöchten — auch hier also wieder ein Hinweis auf die Stellung der Aphasie auf einem Grenzgebiete.

2. Rezeptive Störungen auf nicht sprachlichem Gebiete (Agnosie).

Fälle, die den Bedingungen einer aphasischen Störung des Sprachverständnisses entsprechen, in denen also der Nachweis der ausreichenden

Hörfähigkeit zu erbringen ist, sind so außerordentlich zahlreich, daß ein Zweifel an dem tatsächlichen Bestehen derartiger Zustände — unbeschadet natürlich der Differenzen über ihre Auffassung — ernstlich nicht geäußert wird; eine gleiche Übereinstimmung fehlt auf dem Gebiete der nichtsprachlichen rezeptiven Störungen, die früher unter seltsamer Bedeutungswandlung eines von *Finkelnburg* geschaffenen Ausdruckes als asymbolische bezeichnet wurden, neuerdings treffender mit einem von *S. Freud* eingeführten Ausdrucke als agnostische gekennzeichnet werden. Derartige Störungen könnten auf jedem Sinnesgebiete auftreten. Bedeutung gewonnen haben bis jetzt nur die taktile, die optische und in beschränktem Maße die akustische. Von diesen bietet die

taktile Agnosie (Wernickes Tastlähmung)

die relativ einfachsten Verhältnisse, so daß sie zweckmäßig zur Grundlage der Darstellung gemacht werden kann.

Definitionsgemäß wären als taktile Agnosie Fälle aufzufassen, in denen trotz Erhaltenseins der zum Tasten nötigen elementaren Sinnesfunktionen (Berührungsempfindung, Druckempfindung, Lokalisation, Wahrnehmung passiver Bewegungen usw.) die Fähigkeit des tastenden Erkennens aufgehoben ist. Ob es Fälle gibt, die dieser Definition rein entsprechen, ist noch strittig; schon *Wernicke*, der Schöpfer des Begriffes der Tastlähmung, hatte angegeben, daß in der Mehrzahl der Fälle schon auf Grund anatomischer Erwägungen eine Mitbeeinträchtigung der Sinnesfunktion zu erwarten sei. Entgegen einer Auffassung, welche sich bemüht, die Beeinträchtigung des tastenden Erkennens stets auf derartige sensible Ausfallserscheinungen zurückzuführen, muß aber nachdrücklich betont werden, daß die Tastlähmung oft genug konstatiert wird bei einem Grade sensibler Störungen, der an sich — nach dem Ergebnis von Vergleichsuntersuchungen an anderen Kranken — das Tastvermögen innerhalb der der Untersuchung gesteckten Grenzen nicht beeinträchtigt.

Als Analogon der bei der Behandlung des Wortverständnisses erwähnten Unerweckbarkeit beobachtet man auch beim Tasten, daß manche Kranke, selbst solche, die zuletzt den einen oder anderen Gegenstand tastend erkennen, Gegenstände, die ohne Signalreiz in die geschädigte Hand gelegt werden, nicht „bemerken". Im übrigen fehlt es auch hier wieder an eingehenderer Einsicht in die feineren Vorgänge, die sich im Falle der Störung abspielen; jedenfalls geben die meisten Kranken über die Konstatierung hinaus, daß ihnen etwas in die Hand gegeben ist, auch noch einzelne, qualitativ verschieden zu bewertende Kennzeichen der Gegenstände (leicht, schwer, warm, kalt, naß, spitz) an; man hat vielfach, mehr wohl auf Grund theoretischer Überlegungen, versucht, eine Scheidung in dem Sinne vorzunehmen, daß in einer Kategorie von Fällen nur die kompliziertere Leistung des tastenden Erkennens gestört sei, während in anderen schon die Stereognosie, das Erkennen von Formen (das an kleinen Holzmodellen geprüft zu werden pflegt), gelitten habe. Die Erfahrungen

am Krankenbette sprechen allerdings nicht zugunsten dieser — auch aus theoretischen Gründen anfechtbaren — Scheidung. Wichtiger kann vielleicht eine andere Differenz werden: in manchen Fällen erkennt der Kranke bei einer Wiederholung des Versuches, daß ein Gegenstand schon einmal geprüft wurde, in anderen fehlt auch dieses elementarste Wiedererkennen. Gewisse Beziehungen dieser Modifikationen zu den Störungen des Wortlautverständnisses einerseits, des Wortsinnverständnisses andrerseits sind ohne weiteres deutlich; noch einen Schritt weiter führen diejenigen Fälle, in denen so viele Eigenschaften des Gegenstandes richtig getastet und angegeben werden, daß ein dritter daraus den Gegenstand mit einiger Sicherheit kombinieren kann, ohne daß der Kranke gleichwohl dazu imstande wäre; hier kann es fraglich sein, ob man überhaupt noch von einer speziellen Agnosie zu sprechen berechtigt ist. Gerade in diesem Zusammenhang verdient eine besondere Form der Tastlähmung Erwähnung: man beobachtet bei Kindern, deren einer Arm von Geburt an gelähmt war (bei der sogenannten zerebralen Kinderlähmung), daß der gelähmte Arm zum tastenden Erkennen unfähig ist, daß aber diese Fähigkeit durch Übung sehr rasch — wenigstens in der Mehrzahl der Fälle — erworben werden kann.

Macht schon bei der theoretisch relativ einfach aufzufassenden und meist leicht und gründlich zu untersuchenden Tastlähmung die Scheidung zwischen der Störung der Sinnesfunktion und dem agnostischen Anteil der Störung generell wie im Einzelfalle manche Schwierigkeiten, so gilt dies in noch höherem Maße für

die optische Agnosie (Seelenblindheit).

Zunächst ist schon theoretisch schwer festzustellen, was über die Licht- respektive Farbenempfindung hinaus noch als eigentliche Sinnesempfindung anzusprechen ist, wo also die Grenze zwischen Blindheit schlechthin und Seelenblindheit gezogen werden soll, während es praktisch oft sehr schwer ist, den Grad verbliebenen Sehvermögens im Einzelfalle zu bestimmen, um so mehr, da tatsächlich zeitliche Schwankungen des Zustandes zwischen reiner Seelenblindheit und totaler zerebral bedingter Blindheit (Rindenblindheit) vorkommen. Weiterhin macht sich gerade auf optischem Gebiete die mehrfach erwähnte Unerweckbarkeit ganz besonders geltend. Endlich muß vielleicht doch etwas mehr, als man lange Zeit geglaubt hatte, bei der Würdigung der einschlägigen Verhältnisse außer den spezifisch optischen Störungen auch die Beeinträchtigung des psychischen Allgemeinzustandes berücksichtigt werden. Dies gilt in erster Linie für eine Störung, die mit der Seelenblindheit zwar nicht zusammenfällt, aber doch enge Beziehungen zu ihr hat: man beobachtet nämlich bei Rindenblinden, respektive Kranken, deren Gesichtsfeld durch cerebrale Läsionen auf ein Minimum beschränkt ist, eine eigentümliche Unfähigkeit, sich im Raume zu orientieren und zurechtzufinden. Die Störung erinnert einigermaßen — ohne damit zusammenzufallen — an eine Erscheinung, die man in leichtesten respektive weitgehend zurückgebildeten Fällen von Seelenblindheit kon-

statieren kann: daß nämlich Gesichtseindrücke, namentlich komplexer Art, zwar erkannt werden, aber als fremdartig respektive schwer erkennbar imponieren, während einfachere — auch Buchstaben und ähnliche — ohne Schwierigkeiten aufgefaßt werden. Von diesen leichtesten Fällen, die sich nur einer speziellen Nachforschung erschließen — nur ganz intelligente Kranke machen spontan entsprechende Angaben —, führen mannigfache Übergänge und beim gleichen Kranken zeitliche Schwankungen hinüber zu den schwersten, in denen auch einfache Gegenstände zwar gesehen, aber optisch nicht (wohl eventuell natürlich taktil oder akustisch) identifiziert werden. Noch mehr als beim Tasten ergeben sich dabei — entsprechend der höheren Differenzierung der Gesichtswahrnehmungen überhaupt — Unterschiede, je nachdem etwa Formen, Farben, Größenverhältnisse noch aufgefaßt werden können; auch lassen sich wieder Fälle, in denen schon dargebotene Eindrücke als „schon dagewesen" identifiziert werden, von anderen trennen, in denen dies nicht der Fall ist; im übrigen scheitern genaue Statusaufnahmen und prinzipielle Differenzierungen an den erheblichen Schwankungen der Resultate, welche lang dauernde, respektive öfter wiederholte Untersuchungen schon beim gleichen Kranken zu ergeben pflegen. Meist läßt sich feststellen, daß eine absolute und totale Aufhebung des optischen Erkennens wenigstens für längere Zeiträume nicht besteht (noch abgesehen von der Tendenz der einschlägigen Störungen zu Besserungen); ebensowenig pflegt, darauf hat schon einer der ersten Bearbeiter der Störung, *Lissauer*, hingewiesen, eine Konstanz der Befunde in dem Sinne zu bestehen, daß bestimmte Objekte stets, andere niemals erkannt würden; am schwersten leidet zumeist die korrekte und vollständige Identifizierung derjenigen Objekte, denen — wie etwa Briefmarken, Spielkarten, Wappen und ähnlichen — eine konventionelle (symbolische) Bedeutung zukommt. Diese Störungen bilden den Übergang zu den Störungen im Erkennen der spezifischen Symbole: der Buchstaben und Zahlen, die weiterhin (s. Alexie) gesondert zu behandeln sind, schon deshalb, weil diese Funktion — trotz ihrer prinzipiellen Zugehörigkeit zu der hier zu behandelnden Gruppe von Symptomen — sehr oft gestört erscheint, ohne daß anderweitige Symptome von Seelenblindheit, auch bei speziell darauf gerichteter Prüfung, nachzuweisen wären.

Theoretisch bedeutsam erscheint es, daß die Einbuße an alten optischen Erinnerungen der Störung im Erkennen optischer Eindrücke nicht parallel zu gehen braucht: so kann es vorkommen, daß der Kranke einen Gegenstand, den er optisch nicht erkennt, aus dem Gedächtnis zu beschreiben oder günstigstenfalls, wenn auch noch so rudimentär, zu zeichnen vermag.

Viel seltener, demnach auch viel weniger eingehend studiert als die beiden oben behandelten Formen ist

die akustische Agnosie (Seelentaubheit).

Die generellen Gesichtspunkte, ebenso wie die Schwierigkeiten der Untersuchung und Auffassung wären die gleichen, wie sie oben besprochen

wurden; auf eine eingehendere Darstellung kann um so mehr verzichtet werden, weil sich unsere tatsächlichen Kenntnisse auf ganz wenige ausreichend untersuchte Fälle beschränken.

Nur an einen Gesichtspunkt muß vollständigkeitshalber erinnert werden: wie auf optischem Gebiete die Lesestörungen (Alexie) theoretisch als ein Sonderfall der Seelenblindheit aufgefaßt werden können, wobei die Störung im Deuten „symbolischer" Eindrücke den Übergang vermittelt, so läßt sich auf akustischem Gebiete eine Reihe aufstellen, die mit der Seelentaubheit schlechthin beginnend über die Störungen symbolischer Laute (Signale und ähnliches) zu den höchstdifferenzierten akustischen Signalen, den Sprachlauten führt, so daß also die Störungen des Sprachverständnisses wieder sich als ein — allerdings der wichtigste — Spezialfall der Seelentaubheit darstellen würde.

Als ein anderer Spezialfall, dem im Sinne der obigen Darstellung eine Stelle etwa zwischen der Auffassung von Signalen und dem Sprachverständnis anzuweisen wäre, würde die Störung des Musikverständnisses, Amusie, darstellen; die Hoffnung, daß die Prüfung dieser nicht ganz seltenen Störungsform uns einen tieferen Einblick in das Wesen der „gnostischen" Vorgänge und ihrer Störungen verschaffen könne, liegt nahe; leider erschweren auch hier die Schwankungen in den Untersuchungsresultaten, häufig auch die Schwierigkeiten der Verständigung mit den Kranken ein tieferes Eindringen.

III. Störungen der Schriftsprache.

Im Gegensatze zur Lautsprache, die unter gewöhnlichen Verhältnissen als Allgemeingut gelten kann, stellt die Schriftsprache einen schulmäßigen Erwerb dar, dessen Besitz von entsprechendem Unterricht und — in höherem Lebensalter jedenfalls — von der Gelegenheit oder Nötigung zu weiterer Übung abhängig ist; sie wird also nicht in jedem Falle ohne weiteres vorausgesetzt werden dürfen und eingehendere Aufschlüsse über ihre Störungen sind erfahrungsgemäß nur von Patienten zu gewinnen, welche in gesunden Tagen schreibgewandt gewesen sind.

Als ein derartiger schulmäßiger Erwerb muß praktisch in erster Linie — unbeschadet der theoretischen Möglichkeit, daß sie einmal von einem besonders Begabten schon vorher aus eigenem geleistet werden könnte — die Fähigkeit aufgefaßt werden, ein Wort, das beim Sprechen und Verstehen nur als Ganzes in Betracht kommt, in Laute resp. Buchstaben zu zerlegen oder aus solchen zusammenzusetzen, wie es beim Schreiben und Lesen nötig ist; wie sehr hier tatsächlich das schulmäßig Erlernte im einzelnen (demnach nicht nur die Methode!) eine Rolle spielt, ergibt sich daraus, daß der Schreibgeübte ganz selbstverständlich nicht phonetisch, sondern nach der üblichen Orthographie buchstabiert: je nachdem sich diese orthographische Schreibung mehr oder weniger weit von derjenigen entfernt, die sich rein phonetisch ergeben würde, wird das schulmäßige

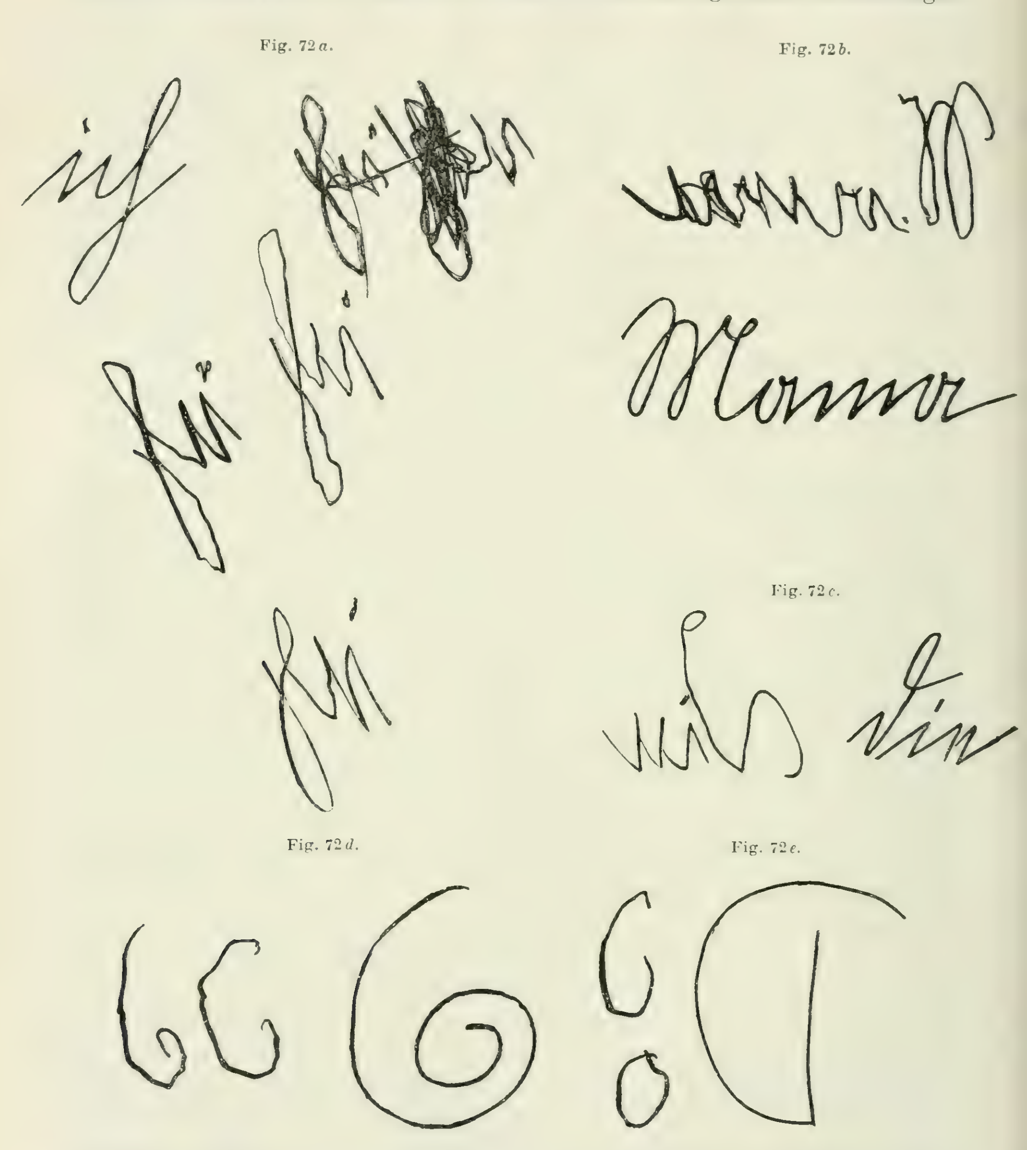
Buchstabieren nur beim Schreiben oder (wie z. B. im Englischen) auch für das Lesen von grundlegender Bedeutung sein. Jedenfalls wird man annehmen dürfen, daß Störungen dieses „Buchstabenwortes“ zu erheblicher Beeinträchtigung des Schreibens und — wenn auch im Deutschen in minderem Maße — zu einer Behinderung des Lesens führen müssen. Jeder Lese- oder Schreibprüfung sollte deshalb eigentlich eine Untersuchung des Buchstabierens vorhergehen. Wo dieselbe durchführbar ist, ergibt sich tatsächlich, daß zuweilen die Zerlegung der Worte in Buchstaben gestört ist; die Störung stellt sich ganz besonders rein und eindeutig in den — allerdings wohl exzeptionell seltenen — Fällen dar, in denen bei verschiedenen Prüfungsmethoden (mündliches Buchstabieren, Schreiben von Worten, Legen von Worten aus Buchstabentäfelchen) identische Fehler auftreten. Bemerkenswerterweise betrifft der Ausfall übrigens nicht nur die Zerlegung im Sinne der üblichen Orthographie; die Kranken sind dann auch nicht fähig, das phonetische Gerippe des Wortes in Laute zu zerlegen; ja nach einer Feststellung *Storchs* soll die Störung am deutlichsten zutage treten bei den einer eigentlichen Orthographie entbehrenden sinnlosen Buchstabenkombinationen.

Die Fehler, die in der Reihenfolge der Buchstaben zutage treten, machen zunächst noch den Eindruck völliger Regellosigkeit; eine Übersicht auch nur über die tatsächlichen Verhältnisse, noch mehr natürlich über die Bedingungen derselben wird ganz besonders dadurch erschwert, daß in der übergroßen Mehrzahl der Fälle die Kranken nicht über die nötigen (mündlichen oder schriftlichen) Ausdrucksmittel verfügen, um dem Untersucher Aufschluß darüber geben zu können, wie sich das „Buchstabenwort“ für sie gestaltet. Vorläufig werden wir uns begnügen müssen, die prinzipielle Bedeutung der hier behandelten Verhältnisse zu berücksichtigen — namentlich in dem Sinne, daß ein erheblicher Teil der Störungen, die sich beim Schreiben (zum Teil auch beim Lesen) ergeben, auf derartige, dem Lese- und Schreibakt als solchem nicht essentiell zugehörige Störungen zurückzuführen sind.

1. Störungen des Schreibens (Agraphie).

Die Prüfung der Schreibleistungen wird vielfach dadurch erschwert, daß die dafür in Betracht kommenden Kranken durch rechtsseitige Lähmungen des Gebrauchs der im Schreiben geübten Extremität beraubt sind. In solchen Fällen muß zum mindesten der Versuch gemacht werden, die linkshändigen Schreibleistungen zu prüfen; fallen sie nicht einfach negativ aus (s. u.), so sieht man die Produkte zuweilen, nicht immer, in Spiegelschrift erscheinen, ebenso wie dies häufig bei Schwachsinnigen und gelegentlich auch beim Gesunden beobachtet wird, letzteres ganz besonders dann, wenn in ungewöhnlicher Lage (gegen die eigene Stirn, unter der Tischplatte) geschrieben wird. Es dürfte nicht zufällig sein, daß beim linkshändigen Abschreiben die Wiedergabe in Spiegelschrift sich zuweilen auf Schriftzeichen beschränkt, während Arabesken u. dgl. in der Lage des

Vorbildes erscheinen; sichtlich verwandt damit ist die Beobachtung, daß auch die linkshändigen spiegelbildlichen Produkte noch gewisse Abweichungen



Linkshändige Schriftproben: *a, b, c* Buchstaben in Spiegelschrift (man beachte das „individuelle" d in die; *d* und *e* Arabesken in der Lage der Vorlage.

von der Vorlage im Sinne einer individuellen Handschrift erkennen lassen können (s. Fig. 72 *a—e*).

Auf die Komplikationen, die sich etwa durch die Nötigung zum Gebrauch der linken Hand ergeben können, soll im folgenden nicht mehr ein-

gegangen werden; erwähnt sei aber, daß entsprechend der eingangs gegebenen Umschreibung natürlich von Agraphie nicht gesprochen werden kann, solange bei Gebrauchsunfähigkeit der rechten Hand infolge von Lähmung die linke korrekt schreibt, daß aber andrerseits — eine sehr störende Komplikation in der Beurteilung der Befunde — nicht wenige Kranke sich aus psychologischen Gründen weigern, linkshändig zu schreiben, so daß also auch der negative Ausfall linksseitiger Schreibversuche bei rechtsseitig Gelähmten nicht ohne weiteres im Sinne einer Agraphie gedeutet werden darf.

Fig. 73 *a*.

Spontanschreibversuche (links) und Abschreibversuche (rechts) eines apraktischen Kranken.

Als schwerste Form der Agraphie könnte man sich eine Störung denken, die auf einer apraktischen Unfähigkeit zum Hantieren des Schreibgerätes beruht: meist ist auch bei den schwersten Formen der Agraphie, eventuell, erstaunlicherweise, selbst bei im übrigen aprak-

tischen Kranken diese Fähigkeit erhalten, gleichwohl kann es dann vorkommen, daß die Kranken weder spontan noch nach Vorlage mehr als ganz sinnlose Kritzel — ohne jede Ähnlichkeit mit Buchstabenformen — produzieren (cf. Fig. 73 *a* u. *b*).

Diese Resultate sind ganz besonders frappant und auch theoretisch bedeutsam, wenn die Kranken (wie auch der Patient, von

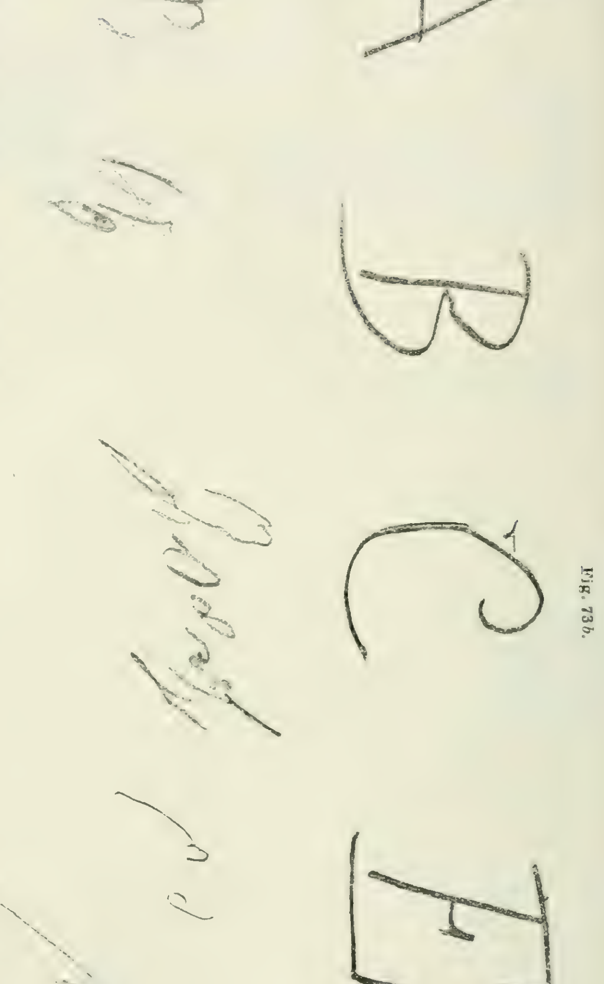


Fig. 73b.

Abschreibversuche desselben Kranken vier Monate später.

dem die obige Schriftprobe stammt) imstande sind, die Vorlage, wenn auch nur teilweise, zu lesen, und ihrer Unzufriedenheit über die geringen Erfolge ihrer Bemühungen entsprechenden Ausdruck zu geben wissen. In den meisten Fällen tragen allerdings die schriftlichen Produkte noch soweit den Charakter von Schriftzeichen, daß man etwa (cf. Analoges bezüglich der paraphasischen gesprochenen Leistungen) eben noch erkennen kann, ob der Kranke deutsche oder lateinische Schrift zu schreiben gewöhnt war.

Schon bei den schwersten (apraktischen, s. u.) Formen der Agraphie kann es übrigens vorkommen, daß das Nachschreiben vor dem Schreiben aus dem Kopfe (Spontanschreiben und Diktatschreiben) begünstigt ist. In leichteren Fällen ist dies fast ausnahmslos der Fall: eine Begünstigung des Spontanschreibens vor dem Abschreiben findet sich nur ganz ausnahmsweise unter besonderen Verhältnissen (cf. u. reine Alexie). Abschreiben und Schreiben aus dem Kopfe erfordern darum gesonderte Prüfung und Darstellung.

Was als Abschreiben geprüft wird, stellt übrigens noch keineswegs eine einheitliche Leistung dar; als elementarste Form würde das „Nachmalen" aufzufassen sein, wobei der Kranke die Vorlage sklavisch Zug um Zug nachzeichnet, bekannte Buchstaben gleich gut oder schlecht wie fremdartige, spiegelbildliche oder beliebige Arabesken; man beobachtet dies Verhalten seltener als man erwarten sollte, da Kranke mit so reduzierter Schreibfähigkeit meist die Abschreibversuche ablehnen; auch Kritzeleien beim Abschreiben, wie sie oben besprochen und reproduziert sind, stellen Ausnahmen dar. Meist geschieht das Abschreiben wirklich schreibend: nicht unter sklavischem Haften der Augen an der Vorlage und mit kleinen Modifikationen der Resultate, in denen sich die eigenen Schreibgewohnheiten des Untersuchten spiegeln. Vielfach fällt auch auf, um wie viel besser und bereitwilliger — auch von Kranken, bei denen ein Verständnis der Vorlage nicht anzunehmen ist — Worte übertragen werden als viel einfachere Arabesken. Dem Abschreiben sehr nahe steht die — bei Schreibgewandten oft noch in sehr schweren Zuständen erhalten bleibende — Fähigkeit, Übertragungen in andere Alphabete respektive von Druck- in Kurrentschrift vorzunehmen.

Fig. 74.

Wichtigere Aufschlüsse als das Kopieren pflegt das Schreiben ohne Vorlage zu bringen. Sieht man von den oben behandelten schwersten Formen ab, in denen das Schreiben aus dem Kopfe überhaupt aufgehoben ist, so findet man, daß die Kranken zumeist wenigstens einige Buchstaben zu schreiben imstande sind, an die sich dann aber zumeist bald perseveratorisch sinnlose Haken und Schlingen anschließen (cf. Fig. 74).

Unter den leichteren agraphischen Störungen müssen wieder zwei Kategorien getrennt werden: in einer ersten sind die Kranken zwar jederzeit imstande, auf Verlangen überhaupt einen Einzelbuchstaben (oder eine Ziffer) zu schreiben. Trotz des — auf andere Weise festzustellenden — Verständnisses für die Aufgabe schreiben sie aber statt der jeweils verlangten andere (ein Analogon der Paraphasie beim Nachsprechen), häufig unter sehr lebhaften Unwillensäußerungen über das Mißlingen. In diesen Fällen kann natürlich von einem zusammenhängenden Spontanschreiben nicht die Rede sein; eine Ausnahme bildet nur das Fertigen der eigenen Unterschrift, die ja — bezeichnenderweise ebenso vom Analphabeten, der gerade seinen Namen zu „malen" gelernt hat, wie vom besonders Schreibgewandten —

in toto „gezeichnet“ zu werden pflegt. Sie bleibt, eventuell zusammen mit einigen ebenso fest eingeschliffenen Worten, tatsächlich auch bei sonst schwer gestörter Schreibfähigkeit zuweilen erhalten.

In der zweiten Kategorie kann der Kranke wohl einzelne Buchstaben wahlweise oder auf Diktat schreiben; wenn trotzdem schon diktierte Worte, noch mehr längere spontane schriftliche Äußerungen fehlerhaft ausfallen, so wird man mit Recht zweifeln dürfen, ob man hier eigentlich noch von Schreibstörungen sprechen sollte; für einen Teil dieser Produkte, die mehr oder weniger genau fixieren, was die Kranken sonst sprechen, wäre die Bezeichnung „geschriebene Paraphasie“ zutreffender. Zumeist beobachtet man allerdings, daß die schriftlichen Produkte noch um einiges weiter entstellt sind als die gesprochenen. Die Erklärung dafür ergeben Beobachtungen wie etwa die folgende: ein Kranker, der auf Verlangen jeden genannten Buchstaben korrekt schreibt und der auch imstande ist, die Buchstaben, aus denen ein Wort zusammengesetzt ist, in korrekter Reihenfolge zu nennen, scheitert gleichwohl und liefert ein unentwirrbares Buchstabenkonglomerat, wenn von ihm verlangt wird, dies Wort ohne weiteres zu schreiben; analoge Beobachtungen sind nicht allzu selten und für die ganze Auffassung der Agraphie und sicher auch anderer aphasischer Störungen nicht ohne Bedeutung (cf. Fig. 75). Die Beobachtung, daß die Störung einer zusammengesetzten Leistung schwerer erscheint, als man nach dem Ergebnis der Prüfung der Einzelfunktionen erwartet hätte, legt die Vermutung nahe, daß die verschiedenen Funktionen nicht wie beim Gesunden neben- und miteinander ablaufen können, sondern sich gegenseitig stören.

Fig. 75a.

Fig. 75b.

Fig. 75c.

Paragraphische Produkte: *a* diktiert Amsterdam; *b* diktiert Utrecht (in toto); *c* diktiert Utrecht (die Buchstaben einzeln).

Der Umstand, daß gerade die Übertragung des Vorstellungsinhaltes in die Schriftsprache ein Nebeneinander zahlreicher derartiger Funktionen voraussetzt, erklärt es wohl, daß bei nicht wenigen im übrigen gut restituierten Aphasischen gerade das Schreiben definitiv Schaden leidet, wie ja auch beim wenig Gebildeten das Schreiben sehr weitgehend „verlernt“ zu werden pflegt, ein Umstand, der, wie oben schon angedeutet, auch bei der Beurteilung der Schreibleistungen ungebildeter, namentlich älterer Patienten Berücksichtigung verdient.

2. Störungen des Lesens (Alexie).

Der Beziehungen der Lesestörungen zur Seelenblindheit wurde oben schon gedacht: als Ergänzung zu der dort getroffenen Feststellung, daß Erscheinungen von Alexie unabhängig von jeder weitergehenden optisch-agnostischen Störung auftreten können, verdient die umgekehrte Erfahrung Erwähnung, daß auch recht schwere Erscheinungen von Seelenblindheit ein gelegentliches Erkennen einzelner Buchstaben, eventuell selbst Worte nicht ausschließen. Von den Lesestörungen würde den übrigen optisch-agnostischen am nächsten stehen ein Zustand, in dem der Kranke nicht mehr imstande ist, Buchstaben als solche, ja überhaupt als Zeichen (Symbole) zu erkennen; man beobachtet tatsächlich gelegentlich, daß der Kranke vorgeschriebene (respektive gedruckte) Buchstaben vom Papier abzuheben versucht, doch scheint es sich hier zumeist wohl um weitergehende Störungen zu handeln; meist wird man, wo es sich um reine Lesestörungen handelt, wohl annehmen dürfen, daß Buchstaben als solche erkannt, ja zumeist sogar noch etwas weiter identifiziert werden: die Kranken drehen wenigstens zumeist umgekehrt in die Hand Gegebenes um und weisen in fremden Alphabeten Geschriebenes zurück — auch wenn sie sonst keinerlei Zeichen des Verständnisses geben. Auf ein rudimentäres Verständnis läßt wohl auch die Fähigkeit schließen, etwa in Druckschrift Vorgelegtes in Kurrentschrift zu übertragen; ganz ausnahmsweise taucht das Verständnis erst beim Abschreiben respektive Nachziehen der Vorlage auf („schreibendes Lesen“).

Wo das Verständnis für die Bedeutung der Schriftzeichen nicht ganz aufgehoben ist, muß strenge geschieden werden zwischen der Fähigkeit, die Buchstaben (Worte usw.) zu erkennen und aufzufassen (leises Lesen) und der anderen, sie auszusprechen (lautes Lesen). Streng genommen wären eigentlich nur Störungen der ersteren Funktion als alektische im engeren Sinne aufzufassen. Im übrigen können beiderlei Störungen in weitem Maße unabhängig voneinander auftreten, vor allem aber sich in oft unentwirrbarer Weise kombinieren. Es ist Aufgabe der klinischen Untersuchungstechnik, auf die hier nicht eingegangen werden kann, Methoden auszubilden, welche die einzelnen Komponenten der Störung, soweit das überhaupt denkbar ist, rein herauszuarbeiten gestatten. Wie oben schon bemerkt, scheitern aber die einschlägigen Prüfungen oft genug an der ungenügenden Verständigungsmöglichkeit, so daß ein Einblick in die Details der Störung versagt bleibt.

Am reinsten dürfte sich der Typus der Alexie in denjenigen Fällen darstellen, in denen Kranke mit fehlender oder sehr geringer Störung des sprachlichen Ausdrucksvermögens anzugeben imstande sind, daß ihnen das Verständnis schon für die Bedeutung der Einzelbuchstaben verloren gegangen ist: dabei kann zum mindesten die Fähigkeit, die — im Vergleich zu beliebigen Arabesken doch ziemlich komplizierten — Formen der Buchstaben zu identifizieren, sich erhalten erweisen, so daß also z. B. der Kranke

anzugeben weiß, daß, wann und wo ihm etwa ein nicht (!) erkannter Buchstabe schon vorgelegt war; weiter kann es vorkommen, daß trotz sonstiger Alexie häufig als Abkürzungen und ähnliches vorkommende Buchstabenkombinationen richtig gedeutet werden; ja es ist sogar beobachtet worden *(Dejerine)*, daß ein Kranker zwar die lautliche Bedeutung der Buchstaben nicht mehr kannte, wohl aber noch wußte, welche Werte mit ihnen in den sekreten Preislisten seines Geschäftes ausgedrückt wurden. Auch das Umgekehrte, daß ein Kranker etwa den Buchstaben π lesen, aber nicht mehr deuten könnte, wäre denkbar. Im allgemeinen aber ist dem Einzelbuchstaben — im Gegensatz zum Worte — ein über die lautliche Bedeutung hinausgehender „Sinn“ nicht eigen.

Das Wortlesen wird im allgemeinen wohl um so schwerer gestört sein, je schwerer schon das Lesen von Einzelbuchstaben beeinträchtigt ist; gleichwohl findet man gelegentlich das Lesen von Worten unverhältnismäßig gut erhalten bei schwerer Störung des Buchstabenlesens; die an sich sehr auffällige Feststellung wird verständlich, wenn man sich erinnert, daß die lange erörterte Streitfrage, ob nur „buchstabierend gelesen“ wird, durch Untersuchungen am Gesunden jetzt dahin entschieden ist, daß auch der Gesamtform des optischen Wortbildes neben dem buchstabierenden Lesen Bedeutung zukommt; in diesem Sinne spricht vor allem auch die namentlich von französischen Autoren betonte Erfahrung, daß das Lesen bei Aphasischen vielfach schwer beeinträchtigt wird, wenn ihnen die Buchstaben eines Wortes in vertikaler statt horizontaler Reihe vorgelegt werden.

Die Fehler, die beim Lautlesen von Worten zutage treten, sind wohl noch häufiger als die entsprechenden beim Buchstabenlesen nicht eigentlich alektische, d. h. Folge ungenügender Erkennung, sondern Folge mangelnder Übertragung auf das exekutive Gebiet; man spräche also richtiger von paraphasischem Lesen; um so überraschender ist es, daß vereinzelt Kranke mit schwerer Störung der Spontansprache eventuell sogar des Nachsprechens fehlerlos lautlesen.

Daß es auch Fälle gibt, in denen trotz leidlich erhaltenen Buchstabenlesens Worte auch schon schlecht erkannt werden, kann kaum bezweifelt werden; die Häufigkeit derartiger Vorkommnisse ist deswegen schwer zu bestimmen, weil hier, nach Maßgabe der möglichen Prüfungsmethoden, das Verständnis für den Inhalt des Gelesenen verwirrend wirkt. Daß das letztere durch die Erkennung des Wortes nicht verbürgt wird, beweisen die nicht ganz seltenen Fälle, in denen Kranke ganz fließend, aber ohne jegliches Verständnis für den Inhalt des Gelesenen vorzulesen vermögen; ihnen stände als anderes Extrem eine andere Kategorie gegenüber, die sich durch ungestörtes Verständnis für den Inhalt des Gelesenen bei schwerster Beeinträchtigung des Lautlesens kennzeichnet. Ganz besonders verwickelt gestalten sich begreiflicherweise die Verhältnisse beim Lesen zusammenhängender Stücke: bezüglich des Verständnisses für den Inhalt kommen dabei neben anderen all die früher erörterten Schwierigkeiten in

Betracht, welche die Beurteilung des Satzsinnverständnisses zu erschweren geeignet sind; die Beurteilung des Lautlesens wird besonders erschwert durch eine fast regelmäßig zu konstatierende Neigung zum Umformen von Worten — oft im Sinne etwas geläufigerer, etwa im Sinne des folgenden sehr charakteristischen Beispieles.

Text (großgedruckte Annonce):	Gelesen:
Um hiergegen Verwahrung einzulegen und den verbündeten Regierungen sowie den Mitgliedern des hohen Reichstages die Wirkungen dieser Zollerhöhungen darzulegen,	Um Überweisungen einzufragen und den vorbeistörenden Regierungen der folgen Reichstages die Wirkungen dessen Zellenverstörungen darzulegen,

In den leichtesten Fällen von Lesestörungen kann man eben noch feststellen, daß die Kranken zum Lesen und Auffassen von Gedrucktem respektive Geschriebenem unverhältnismäßig lange Zeit nötig haben oder sehr rasch ermüden; einer exakten Untersuchung und Darstellung entziehen sich diese leichteren Störungen hochzusammengesetzter Funktionen schon wegen der außerordentlichen Schwankungen in den Resultaten von Untersuchung zu Untersuchung; sie haben deshalb trotz ihrer praktischen Wichtigkeit auch für die Auffassung der Verhältnisse nicht die gleiche Bedeutung gewonnen wie die mehr elementaren Störungen.

Wenigstens kurzer Erwähnung bedarf die besondere Stellung, welche die Ziffern zum Teil schon beim Schreiben, ganz besonders aber beim Lesen einnehmen. Sie werden im allgemeinen besser erkannt und sehr häufig auch laut gelesen als Buchstaben respektive Worte; man kann so z. B. Kranke, mit denen sonst jede mündliche oder schriftliche Verständigung ausgeschlossen ist, korrekt schriftlich gestellte Rechenaufgaben schriftlich lösen sehen. Auf die — außerordentlich interessanten und weiterer Durchforschung sehr werten — Details bezüglich des Verhaltens der Aphasischen gegenüber Ziffern (und auch den Zahlbegriffen) kann im Rahmen dieser Darstellung nicht eingegangen werden. Die sehr eigentümlichen Verhältnisse werden dem Verständnis etwas näher gerückt, wenn man sich erinnert, daß die Ziffern, wenn auch ihrerseits Symbole der Zahlbegriffe, doch andrerseits den Objekten näher stehen als die Buchstabenworte (s. S. 219).

B. Spezielle Formenlehre.

Die vorgehende Darstellung ist in gewissem Sinne das Resultat einer Abstraktion, insofern sie den Versuch gemacht hat, Einzelstörungen, losgelöst von ihrem Verbande mit anderen, zu beschreiben und zu behandeln; da und dort mußte auch schon in der Beschreibung derselben auf gleichzeitig bestehende andere, ohne die sie bedeutungslos würden, Rücksicht genommen, sogar der Schwierigkeit der Reindarstellung einzelner Symptome und ihrer Scheidung von anderen gedacht werden. Es kann tatsächlich nicht

nachdrücklich genug betont werden, daß die Zahl der Fälle, in denen ein Symptom allein den Krankheitszustand ausmacht, verschwindend gering ist und daß insbesondere die Zahl der wirklich rein monosymptomatischen Störungen um so geringer wird, je genauer und objektiver untersucht wird. Eine ausführliche Darstellung aller möglichen Gestaltungen und Verlaufsformen würde nur speziell klinisch-medizinisches Interesse darbieten, die hier beabsichtigte Übersicht kann nur die wesentlichsten Typen kurz charakterisieren.

1. Aphasische Zustände.

a) Einfache Formen.

Mit den eben gemachten Einschränkungen muß eine Reihe von Zustandsbildern anerkannt werden, welche im wesentlichen durch ein Symptom gekennzeichnet sind. Sie werden am besten in Nachfolgung der französischen Terminologie als reine, eventuell auch isolierte Formen bezeichnet; vielfach wird auch noch zur Kennzeichnung des klinischen Typus die *Wernicke-Lichtheim*sche Bezeichnung subcortical gebraucht. Sie haben alle einige gemeinsame Charakteristika, vor allem die häufige Totalität und Stabilität der Störung: die aufgehobene Funktion ist demnach vollständig und auf die Dauer aufgehoben; die Zahl der einschlägigen Fälle ist übrigens bei einigermaßen strengen Anforderungen bezüglich der Zurechnung gering, manche sind überhaupt umstritten. Am häufigsten und längsten bekannt scheint die reine Wortstummheit, ausschließlich gekennzeichnet durch das Symptom der Aphasie ohne jede Beeinträchtigung des Sprachverständnisses und vor allem ohne Störung der Schriftsprache; sie schließt bezeichnenderweise die Fähigkeit der Kranken zu singen (wenn auch nur Melodien ohne Text) nicht aus; gelegentlich stellt sie das Residuärstadium einer weitergehenden (*Broca*schen) Aphasie (siehe diese) dar; wie bei dieser sind rechtsseitige Faciolinguallähmungen oder Hemiplegien häufige, doch nicht konstante Begleiterscheinungen.

Mehr umstritten ist bereits die reine Sprachtaubheit, ausschließlich charakterisiert durch die Aufhebung des Wort-(Laut- und Sinn-)Verständnisses, ohne Störungen des expressiven Anteils der Sprache wie auch der Schriftsprache (nur das Nachsprechen ist begreiflicherweise aufgehoben). Sie ist schwerer, als es grundsätzlich erscheinen könnte, von den Störungen infolge Schädigung der perceptiven Apparate zu trennen, vor allem weil die bei dieser Form zumeist ganz besonders ausgeprägte und bei ihr auch zuerst *(Lichtheim)* aufgefallene Unerweckbarkeit leicht zu einer Unterschätzung des verbliebenen Hörvermögens führt. Andeutungen von Seelentaubheit bestanden daneben in einigen Fällen, fehlten in anderen; ebenso scheint die Auffassung von Melodien dem Grade der Störung des Sprachverständnisses in diesen Fällen nicht immer parallel zu gehen. Auch diese Form kann als ein Residuärzustand weitergehender Störung (aus der *Wernicke*schen Aphasie) zurückbleiben.

Noch häufiger scheint eine derartige Entwicklung bei der isolierten Alexie, die darum auch am häufigsten von den hier zu erörternden reinen Formen auch in den typischen Fällen Reste dieser weitergehenden Störungen erkennen läßt. Definitionsgemäß hätte sie sich zu erschöpfen in einer Lesestörung, welche als echte im Sinne der früheren Ausführungen (siehe S. 175) schon das Erkennen der Einzelbuchstaben aufhöbe; doch werden auch in sonst typischen Fällen Ausnahmen, vor allem Reste erhaltener Lesefähigkeit, beobachtet.

In den schwersten Fällen findet man entsprechend den engen Beziehungen der Alexie zu den optisch-agnostischen Störungen überhaupt Andeutungen von Seelenblindheit, wenigstens temporär; eine sehr häufige, aber nicht obligate Komplikation ist rechtsseitige homogene Hemiopie (Ausfall der rechten Gesichtsfeldhälften auf beiden Augen), die aber ihrerseits, was prinzipiell wichtig erscheint, nicht zu Alexie zu führen braucht.

Das Schreiben ist in den reinsten Fällen erhalten und erfolgt um so besser, je ungestörter und „mechanischer" der Kranke schreibt; wird er gestört, so muß es schon deshalb zu Fehlern kommen, weil der Kranke infolge der alektischen Störung auch das, was er selbst geschrieben, nicht wieder lesen und so kontrollieren kann. Schlechter als das Schreiben aus dem Kopfe gelingt das Abschreiben, das nur mechanisch möglich zu sein scheint; dagegen wird gerade von hierhergehörigen Kranken gelegentlich berichtet, daß sie schreibend zu lesen (siehe oben) imstande waren. Je nachdem sich den im Vordergrunde stehenden alektischen Störungen die, wie erwähnt, fast nie ganz fehlenden, weitergehenden Störungen (vor allem des Sprachverständnisses und des sprachlichen Ausdrucksvermögens, speziell der Wortfindung) in mehr oder weniger reichlichem Maße zugesellen, nähert sich der Zustand den Abortiv- respektive Rückbildungsformen der *Wernicke*schen Aphasie; eine strenge Trennung ist weder nötig noch durchführbar.

Am meisten umstritten ist die isolierte Agraphie; sie wäre charakterisiert durch die Aufhebung der Schreibfähigkeit ohne andere aphasische Störungen, vor allem ohne Beeinträchtigung des Buchstabenwortes; neuere unter dem Gesichtspunkt der Apraxie vorgenommene Untersuchungen scheinen tatsächlich ihr oft bezweifeltes Vorkommen zu beweisen; über ihre Häufigkeit, das Verhältnis zwischen Schreiben aus dem Kopf und Nachschreiben, ebenso über ihr Verhältnis zu den anderweitigen apraktischen Störungen werden erst eingehendere Untersuchungen, welche diese modernen Gesichtspunkte berücksichtigen, Aufschluß zu bringen haben.

b) Zusammengesetzte Formen.

Die zusammengesetzten Formen stellen die weitaus überwiegende Majorität der zur Beobachtung gelangenden Fälle dar; die Frage ihrer Verteilung in verschiedene Gruppen kann heute, wo man mehr und mehr sich von der Häufigkeit von Mischformen und fließenden Übergängen überzeugen mußte, nicht mehr die gleiche Bedeutung beanspruchen, wie

früher zu einer Zeit, da man vor allem auf „reine Fälle“ im Sinne von Belegen für theoretisch abgeleitete Formen fahndete. Schon die gegenseitige Verständigung macht aber eine Gruppierung nötig und es kann als Beweis für den heuristischen Wert dieser Betrachtungsweise dienen, daß sich auch heute keine bessere Grundlage für diese Einteilung finden läßt, als sie durch die zunächst rein deduktiven Konstruktionen von *Lichtheim*, die dann von *Wernicke* übernommen wurden, geschaffen wurden. Die zusammengesetzten Formen sind nicht nur untereinander nicht so scharf abgegrenzt, wie dies oben für die einfachen Formen ausgeführt werden konnte, sondern sie stellen auch jeweils im Einzelfalle nicht gleich stationäre Zustände dar, so daß also auch der gleiche Fall, je nachdem er in verschiedenen Stadien oder angesichts der häufigen Schwankungen von Untersuchung zu Untersuchung in einem günstigeren oder ungünstigeren Augenblick zu rubrizieren wäre, unter verschiedenen Formen einzuteilen wäre.

Als schwerste der zusammengesetzten Formen wäre die Totalaphasie aufzufassen, gekennzeichnet — in den schwersten Graden — durch Aufhebung der Sprache und des Sprachverständnisses, wohl ausnahmslos kombiniert mit erheblicher Beeinträchtigung der Schriftsprache. So häufig sich derartige Zustände initial finden, so selten scheinen stationäre einschlägige Beobachtungen; meist geht die Totalaphasie bald in eine der weiterhin zu besprechenden Formen über. Andeutungen, in welcher Richtung die Entwicklung erfolgen wird, lassen sich nicht selten sehr bald in manchen hier nicht zu verfolgenden Besonderheiten des Bildes erkennen; das Interesse, das diese Form bietet, ist angesichts der komplizierten, vielfach ganz unentwirrbaren Verhältnisse zunächst noch nicht sehr groß. Das Hauptinteresse bieten die beiden Formen, die jetzt meist mit den Namen der beiden Führer auf dem Gebiete der Aphasie belegt werden: die *Broca*sche und die *Wernicke*sche Aphasie. Von diesen kann die erstere als Typus der expressiven Form gelten, die letztere als Typus der rezeptiven.

Die *Broca*sche Aphasie („corticale motorische Aphasie“) teilt mit der reinen Wortstummheit die Aufhebung der Sprechfähigkeit (auch die Häufigkeit der begleitenden rechtsseitigen Lähmungserscheinungen); sie bietet aber darüber hinaus ein Plus an Erscheinungen: zunächst scheint in vielen Fällen das Sprachverständnis wenigstens für im Zusammenhang Gesprochenes (Satzsinnverständnis) einigermaßen beeinträchtigt, während das Einzelwortverständnis intakt ist, so daß also die Abgrenzung gegenüber den rezeptiven Formen nicht schwer fällt. Vor allem aber fehlen bei der *Broca*schen Aphasie niemals Störungen der Schriftsprache; am schwersten geschädigt erscheint das Schreiben; in manchen Fällen führt eine (wohl als apraktisch anzusprechende) Agraphie zur völligen Aufhebung des Schreibens; in den meisten scheint die Schreibstörung auf eine Schädigung im Gefüge des Buchstabenwortes zurückzuführen: die Kranken sind wenigstens imstande, Buchstaben zu schreiben, wie weit allerdings die jeweils verlangten respektive beabsichtigten, bedarf noch näherer Feststellung. Ge-

ringer pflegen die Störungen des Lesens zu sein: totale Aufhebung des Buchstabenerkennens scheint höchstens als initiale Komplikation vorzukommen; in späteren Stadien finden sich die verschiedensten früher besprochenen Formen der Lesestörung.

Die *Broca*sche Aphasie ist vielfach der Rückbildung zugänglich, die sich aber von Fall zu Fall nicht nur graduell, sondern prinzipiell verschieden gestalten kann: betrifft die Rückbildung wesentlich die Lese- und Schreibstörung (in dieser Beziehung werden Übung und Unterricht eine sehr erhebliche Rolle spielen), so kann sich, wie oben schon angegeben, zuletzt eine mehr oder weniger typische reine Wortstummheit entwickeln. In anderen Fällen bessert sich die Sprechfähigkeit in weitem Maße, während erhebliche Störungen im Schreiben verbleiben.

Diese Rückbildung der Sprechfähigkeit ist von besonderem Interesse — leider noch nicht vollständig geklärt: sie kann spontan oder als Resultat systematischer Übungen erfolgen, und es ist möglich, daß die Verhältnisse in beiden Fällen nicht ganz identisch aufzufassen sind; gerade das mühsame und systematisch Erlernte scheint der Gefahr des Wiederzugrundegehens besonders ausgesetzt. Viel umstritten ist die Frage, ob bei der Wiedererlernung der Sprache das Nachsprechen dem Spontansprechen vorhergeht, wie namentlich *Bastian* betont hat; daß derartige Fälle vorkommen, ist unbestreitbar; es scheint aber nicht gerechtfertigt, diesen Verlauf als die Regel oder gar als obligat darzustellen. Besonders interessant sind die Fälle, in denen eine der ersten zurückkehrenden Leistungen das Benennen darstellt, angesichts einer seit *Broca* immer wieder erörterten Frage, ob der „Aphasische" als amnestisch-aphasisch angesprochen werden darf; die eben erwähnten Fälle sprechen dagegen, noch mehr die Betrachtung der späteren Stadien der Rückbildung: die Kranken verfügen gerade über diejenigen Elemente der Rede, welche dem Wortamnestischen fehlen: Bezeichnungen für Konkreta, Eigennamen u. a. Viel mehr leidet der Ductus der Rede; selbst die spezielle Aufgabe, aus einigen Worten nach Art der Schulübungen Sätzchen zu bilden, kann nur unvollständig gelöst werden; in der Spontansprache findet sich im Stadium der Restitution häufig der früher beschriebene Agrammatismus; wenn sich dieser auch bei den verschiedensten Formen ergeben kann, so darf doch angenommen werden, daß die Mehrzahl der Fälle, in denen er sehr ausgesprochen in die Erscheinung tritt, ursprünglich motorisch-aphasische Störungen darboten.

Auch in den best restituierten Fällen pflegen sich zuletzt noch diejenigen Störungen zu dokumentieren, die oben als Ausdruck einer nicht zur vollen Funktionsaufhebung führenden Schädigung der Sprechfähigkeit geschildert wurden. Im ganzen ist die Vorhersage für die Rückbildung der motorischen Aphasie wohl etwas besser, als man eine Zeitlang anzunehmen geneigt war; trotzdem ist die Zahl der Fälle nicht gering, in denen unbeschadet der mehr oder weniger vollständigen Rückbildung der weitergehenden Erscheinungen das Hauptsymptom, die Aufhebung der Sprechfähigkeit, ungebessert bleibt.

Auch in dieser Beziehung unterscheidet sich die *Broca*sche Aphasie von der *Wernicke*schen (der corticalen sensorischen Aphasie nach *Wernickes* Bezeichnung). Sie wird grundsätzlich — gleich der reinen Sprachtaubheit — charakterisiert durch die Störung des Sprachverständnisses, die aber nur ausnahmsweise und dann auch meist nur initial so schwer ist, wie bei dieser Form und auch hinter der durchschnittlichen Schwere der expressiven Störungen bei den motorischen Formen zurückzubleiben pflegt. Hemiplegische Erscheinungen fehlen häufig, dagegen stellen hemiopische Gesichtsfeldstörungen eine namentlich in den Initialzuständen sehr gewöhnliche Begleiterscheinung dar.

Von der reinen Sprachtaubheit unterscheidet sich die *Wernicke*sche Form durch die Beeinträchtigung der Spontansprache, die um so augenfälliger erscheint, weil die meisten Kranken mit *Wernicke*scher Aphasie, im Gegensatz zu den rede-unlustigen motorisch-Aphasischen sogar eine eigentümliche Neigung zum Vielsprechen respektive eine Art von „Nichtaufhörenkönnen" zeigen, wenn sie einmal in Gang gebracht sind. Das spontan Gesprochene liefert alle Abstufungen der oben geschilderten Paraphasien: in den schwersten Fällen ein Überwiegen von Wortentstellungen — eventuell unter Verschontbleiben der kleinen Redeteile und einiger sehr geübter Phrasen —, in leichteren nur mehr Wortverwechslungen respektive amnestische Ausfälle bei den konkreten Bezeichnungen und dgl. Das Reihensprechen pflegt, wenn nur die Aufgabe verständlich gemacht werden kann, auffallend gut zu gelingen, ein Befund, der namentlich da von Bedeutung ist, wo sehr schwere paraphasische Entstellungen beim Spontansprechen zu diagnostischen Schwierigkeiten gegenüber den Folgen beeinträchtigter Sprechfähigkeit führen könnten. Einigermaßen analog der Spontansprache ist auch das Nachsprechen gestört: im Gegensatze zu den rein Sprachtauben, die Nachsprechversuche meist ablehnen, lassen sich Kranke mit *Wernicke*scher Aphasie meist sehr leicht zu entsprechenden Versuchen bewegen. Es scheint überhaupt bemerkenswert, daß die Einsicht in den Defekt, resp. die Übersicht über das, was voraussichtlich gelingen oder nicht gelingen wird, bei Kranken mit *Wernicke*scher Aphasie im allgemeinen — nicht ausnahmslos! — schlechter entwickelt ist als bei solchen mit *Broca*scher Aphasie.

Entsprechend dem oben schon Angedeuteten vollzieht sich die Rückbildung bei der *Wernicke*schen Form im Durchschnitt nicht nur öfter und vollständiger, sondern auch rascher als bei der motorischen; dabei scheinen sich allerdings die Rückbildungsvorgänge noch weniger als bei der letzteren systematisch und gleichmäßig zu vollziehen, so daß es schon im Einzelfalle, noch mehr generell schwer ist, eine Übersicht über die Reihenfolge derselben zu gewinnen. Soweit sich die Verhältnisse übersehen lassen, scheinen sich zuweilen die drei hauptsächlich in Betracht kommenden Funktionen: Sprachverständnis, Nachsprechen und Spontansprache einigermaßen gleichmäßig zu restituieren, so daß auch ein etwa zuletzt verbleibender Defekt die einzelnen Funktionen gleichmäßig betrifft. In anderen Fällen wird aber eine Funktion zeitlich und quantitativ entschieden in der Rückbildung be-

günstigt: am häufigsten wohl das Nachsprechen, ohne daß aber von einer Gesetzmäßigkeit dieses Verhaltens zu sprechen wäre; man beobachtet im Gegenteile sogar Fälle, in denen gerade das Nachsprechen am schwersten und längsten geschädigt bleibt, ganz abgesehen von den gar nicht seltenen Fällen, in denen gelegentlich ein einzelnes Wort zwar verstanden wird, trotzdem aber — bei erweislich ungeschädigter Sprechfähigkeit — nicht nachgesprochen werden kann.

Trotz der im ganzen günstigen Rückbildungsaussichten der *Wernicke*schen Aphasie dürfte eine restlose Genesung, wenn überhaupt, nur sehr selten vorkommen; leichteste Residuen der Störung dokumentieren sich allerdings weniger bei der speziellen Untersuchung als in der Konversation, in der Schwierigkeit der Auffassung längerer Gespräche mit einer Mehrzahl von Teilnehmern und in einer leichten Behinderung des Ausdruckes (durch wortamnestische Störungen) und Neigung zum Versprechen (i. e. Paraphasie). Dazu kommen als vielfach praktisch sehr hinderliche Erscheinungen die Störungen des Lesens und Schreibens, die bei der *Wernicke*schen Aphasie kaum jemals ganz fehlen. Eine eingehendere Darstellung derselben an dieser Stelle ist um so weniger möglich, als sich gerade bei den sensorisch Aphasischen am häufigsten (durch die erschwerte Verständigung mit dem Kranken) die oben erwähnten Schwierigkeiten der Analyse ergeben. Nur auf einige prinzipiell wichtige Punkte sei hingewiesen: zunächst kann man eine Kategorie von Störungen des Lesens und Schreibens feststellen, die ohne weiteres als Folgezustände der sensorisch-aphasischen Störung aufgefaßt werden müssen, dahin würde eventuell die Unfähigkeit zum Diktatschreiben und die Paraphasie beim Lautlesen zu rechnen sein; daneben stände eine andere Kategorie, in der eine derartige Abhängigkeit zum wenigsten nicht ohne weiteres gegeben erscheint, hierher würden z. B. die — bezeichnenderweise nicht allzuhäufig beobachtete — absolute Agraphie und die — häufigere — absolute Alexie zu rechnen sein; in der Mehrzahl der Fälle wird man an kompliziertere Zusammenhänge, eventuell vermittelt durch Störungen des Buchstabenwortes zu denken haben. Dem eben Dargelegten entspricht es, daß von Fall zu Fall auch das gegenseitige Verhältnis nahe verwandter Funktionen sich verschieden gestalten kann, so daß also z. B., wie oben schon angedeutet, einmal das Nachsprechen, ein andermal das Lautlesen des gleichen Wortes besser gelingt, daß der eine Kranke leichter ein Wort zu schreiben, ein anderer leichter es spontan zu sprechen imstande ist, daß der Sinn eines Wortes einmal besser beim Vorlegen des Schriftbildes, ein andermal besser beim Sprechen aufgefaßt wird. Eine Übersicht über diese an sich zweifellos sehr bedeutsamen Verhältnisse wird schon im Einzelfalle noch mehr generell durch die außerordentlichen Schwankungen der Untersuchungsresultate — in den meisten Fällen schon von Untersuchung zu Untersuchung, ja vielfach innerhalb derselben Untersuchungsreihe — unmöglich gemacht.

Berücksichtigt man, wie es im vorstehenden versucht wurde, bei der übersichtlichen Darstellung nicht nur die voll ausgebildeten klassischen

Bilder, sondern auch die Variationen von Fall zu Fall und namentlich die Rückbildungsvorgänge, so lassen sich in der so sich ergebenden Übersicht die meisten überhaupt vorkommenden Bilder so weit einreihen, als es bei Berücksichtigung der komplizierten Verhältnisse billigerweise erwartet werden kann. Vor allem praktische Erwägungen und die Rücksicht auf die gegenseitige Verständigung lassen es aber wünschenswert erscheinen, noch einige Untergruppen aufrecht zu erhalten, die zunächst theoretisch konstruiert und theoretisch bedeutsam waren und die hier wenigstens kurz erwähnt werden müssen. Es handelt sich in der überwiegenden Mehrzahl um Fälle, die sich teils der motorischen, teils der sensorischen Aphasie anzuschließen scheinen; sie werden zumeist als transcorticale Formen bezeichnet, ein Ausdruck, der (ebenso wie cortical und subcortical) ursprünglich allerdings eine spezifische Lokalisation der zugrunde liegenden Schädigung andeuten sollte, mehr und mehr aber zur Charakterisierung eines klinischen Komplexes gebraucht wird. Von diesen Formen ist am spärlichsten durch einigermaßen typische Fälle belegt und darum auch vielfach angezweifelt die transcorticale motorische Aphasie; sie teilt mit der *Broca*schen die schwere Beeinträchtigung und Reduktion (wohl kaum vollständige Aufhebung) der Spontansprache, unterscheidet sich aber von dieser durch das Erhaltensein des Nachsprechens (meist wohl auch des Reihensprechens). Schon daraus ergibt sich, daß sie von der *Broca*schen Aphasie, deren Kardinalsymptom gerade die Aufhebung der Sprechfähigkeit (also auch des Nach- und Reihensprechens) ist, generell zu trennen ist. Im gleichen Sinne spricht auch die Rückbildung: statt der unbeholfenen, agrammatischen, aber zumeist doch verständlichen Ausdrucksweise der rekonvaleszenten *Broca*schen Aphasie entwickelt sich hier beim Rückgang eine Sprache, die vielmehr dem Typus in den Rückbildungsstadien der sensorischen Aphasie entspricht (s. o.). Gerade diese Differenzen in der Rückbildung lassen schon rein klinisch die zuweilen geäußerte Annahme, die transcorticale motorische Aphasie stelle das (oder auch nur ein) Rückbildungsstadium der *Broca*schen Aphasie dar, unannehmbar erscheinen. Eher akzeptabel erscheint klinisch eine solche Auffassung des Verhältnisses zwischen der transcorticalen sensorischen Aphasie und der *Wernicke*schen Form. Die transcorticale sensorische Form unterscheidet sich von der *Wernicke*schen wieder durch das Erhaltenbleiben des Nachsprechens; trotzdem ein Verlauf, der zu dieser Kombination führt, oben als häufig für die Rückbildung der *Wernicke*schen Form angegeben wurde, wird man von einer besonderen Form hier in denjenigen Fällen zu sprechen geneigt sein, in denen vom Anfang an oder jedenfalls sehr bald das Nachsprechen ungestört erschien. Im übrigen wird zu berücksichtigen sein, daß die hier gemeinte Form der Rückbildung der *Wernicke*schen Aphasie nicht die einzig mögliche darstellt, so daß also auch in denjenigen Fällen transcorticaler sensorischer Aphasie, denen ein kurzes Stadium *Wernicke*scher Aphasie vorherging, die Frage, warum sich nun die Rückbildung in einer bestimmten Reihenfolge vollzogen oder nicht vollzogen hat, besonderer Er-

wägung bedarf. Auch die oben als selten bezeichnete Rückbildungsform der *Wernicke*schen Aphasie mit vorwiegender Schädigung des Nachsprechens kann — gleichfalls nicht häufig, aber vielleicht doch nicht ganz so selten, als man annahm — einigermaßen isoliert auftreten. Der Zustand würde dann dem viel umstrittenen der *Wernicke*schen Leitungsaphasie entsprechen, die ursprünglich nur theoretisch konstruiert, dann von dem Schöpfer selbst angezweifelt, wesentlich unter theoretischen Gesichtspunkten besonderes Interesse beansprucht (s. u.). Umstritten ist endlich die Frage, ob eine nur durch die Wortamnesie gekennzeichnete amnestische Aphasie als besondere Form anzuerkennen ist. Wieder abgesehen von den Fällen, in denen sich ein derartiger Zustand als Residuum einer sensorischen Aphasie ausbildet, müssen vereinzelte derartige Fälle wohl anerkannt werden; ihre nahe Verwandtschaft mit den residuären Fällen scheint sich in den fast nie fehlenden begleitenden Störungen der Schriftsprache auszudrücken. Solche finden sich in den hier zuletzt behandelten Fällen fast ausnahmslos, ohne daß es bis jetzt gelungen wäre, konstante Beziehungen zwischen den Störungen der Laut- und der Schriftsprache zu statuieren. Jedenfalls haben sich die Beziehungen, welche man zunächst bei der Aufstellung dieser Formen theoretisch ableiten zu können glaubte, nicht als zutreffend erwiesen; sie erscheinen übrigens auch zur Charakterisierung und Abgrenzung dieser Formen gegeneinander, soweit eine solche überhaupt durchführbar ist, nicht nötig.

2. Apraktische und agnostische Störungen.

Noch schwieriger als für die aphasischen erweist sich für die agnostischen und apraktischen Störungen die Aufstellung einigermaßen wohl umschriebener Formen, wenn denselben das Material tatsächlicher Beobachtungen, nicht theoretische Konstruktionen zugrunde gelegt werden sollen.

Am häufigsten tritt isoliert und dann noch auf eine Seite beschränkt die Tastlähmung auf; auch die Seelenblindheit kann, wenigstens zeitweise, sich als isolierte Störung darstellen; in beiden Fällen wäre dann noch zu scheiden zwischen Fällen, in denen schon einmal Dargebotenes als bekannt wieder erkannt wird und anderen, in denen dies unmöglich ist; es ergäben sich unter Berücksichtigung dieses Gesichtspunktes theoretisch bedeutsame Beziehungen zu den Störungen des Wortsinn- und Wortlautverständnisses respektive den „transcorticalen" und „corticalen" Formen der sensorischen Aphasie. Bemerkenswert erscheint es, daß es zu Bewegungsverwechslungen bei reiner Tastlähmung respektive Seelenblindheit trotz des Nichterkennens der Gegenstände nicht zu kommen pflegt. Rein werden andrerseits gerade die typischen Fälle der Apraxie, die echten Bewegungsentstellungen beobachtet — nicht ganz selten einseitig; von diesen einseitigen Apraxien ist am wichtigsten die schon oben erwähnte häufige Apraxie (in leichteren Fällen „Dyspraxie") der ungelähmten linken Hand bei rechtseitig Gelähmten.

Theoretisches Interesse beansprucht weiter eine gleichfalls von *Liepmann* studierte Form, bei der zwar im übrigen (bei allen anderen Aufgaben) Apraxie beobachtet wird, trotzdem aber sehr geübte mechanisierte Manipulationen am Objekt (Stricken, Knüpfen, gelegentlich sogar das Schreiben einzelner Buchstaben) gelingen, wenn nur durch entsprechende Darbietung dieses Objektes die Bedingungen für das Anfangen günstig gestaltet werden: als das Kennzeichnende dieser Bewegungen darf wohl außer der besonders intensiven Geübtheit, ihr Charakter als Reihenleistung bezeichnet werden, wobei (am typischsten wohl beim Stricken!) ohne Intervention anderer Elemente jeder jeweils folgende Akt durch den vorhergegangenen eindeutig bestimmt wird: ihre Verwandtschaft mit dem Reihensprechen sei hier nur angedeutet.

Häufiger als diese isolierten Formen beobachtet man Kombinationen, sei es nur verschiedener (optischer, taktiler eventuell auch akustischer) Agnosien untereinander, sei es Kombinationen agnostischer und apraktischer Störungen. Die Mehrzahl, namentlich der früher beschriebenen Fälle von „Asymbolie“ gehört diesen agnostisch-apraktischen Mischformen an: sie zeichnen sich namentlich durch die Häufigkeit komplizierter Bewegungsverwechslungen beim Manipulieren mit Gegenständen aus; wie weit man darin die Folge von ungenügender Identifikation der Objekte zu sehen hat, wie weit nur motorische „Entgleisungen“ (die sich vereinzelt tatsächlich als solche wohl einwandfrei nachweisen lassen), ist selbst angesichts einer Einzelaktion meist nicht zu entscheiden; es scheint, daß auch hier die komplizierte Aufgabe (d. h. die Aufgabe, das Objekt zu erkennen, dann dementsprechend damit zu manipulieren) schlechter gelingt, als dem Maße der Störung der Einzelleistung (isoliertes Erkennen, respektive Ausführen der Bewegungen) entsprechen würde. Ein tieferer Einblick in die Elemente der Störungen wird vor allem auch durch die aphasischen Störungen unmöglich gemacht, welche in einschlägigen Fällen fast nie fehlen und eine Verständigung mit dem Kranken, ja vielfach schon die eindeutige Gestaltung der Untersuchungsbedingungen ausschließen. Berücksichtigt man diese fast regelmäßige Komplikation der zunächst als agnostisch-apraktisch imponierenden Mischformen mit aphasischen Störungen, berücksichtigt man weiter, daß auch in den zunächst als rein aphasisch imponierenden Fällen genauere Untersuchung recht häufig wenigstens Andeutungen bald apraktischer, bald agnostischer Störungen zutage fördert, so gewinnt man einigermaßen einen Einblick in die Menge möglicher Zustandsbilder und Krankheitsverläufe; eine erschöpfende Darstellung dieser Verhältnisse wäre tatsächlich auch in viel weiterem Rahmen unmöglich: auch der Erfahrene kann fast bei jedem genau untersuchten Falle wieder ganz neue Komplikationen und Kombinationen (und zwar auch die a priori allerunwahrscheinlichsten) erleben.

3. Der Verlauf der Störungen.

Überall im Vorstehenden ist — abweichend von einer noch vielfach üblichen, allerdings übersichtlicheren schematisierenden Darstellung — der

Schwankungen und namentlich der Rückbildungsvorgänge bei den einzelnen Formen gedacht. Namentlich die letzteren sind dabei aber nur insofern berücksichtigt, als sie den einzelnen Symptomen (resp. Symptomenkomplexen und Formen) als solchen eigen sind: so mußte auf die geringe Tendenz zur Rückbildung bei den sogenannten reinen Formen, die größere Tendenz zur Rückbildung bei der sensorischen Aphasie gegenüber der motorischen hingewiesen werden. Dabei ist die jedenfalls häufigste, darum einigermaßen als typisch anzunehmende Entstehung der aphasischen Störungen der Darstellung zugrunde gelegt, daß sie nämlich durch akute Schädigungen (meist Erweichungen oder Blutungen) zustande kommen, die ihrerseits zum mindesten keine Tendenz zur Progression (wohl eventuell zu späterer Wiederholung!) dokumentieren; es darf hier wohl vorgreifend bemerkt werden, daß die Restitution sich besonders rasch und vollständig vollziehen wird, wenn die lokale Schädigung selbst, die zu der aphasischen Störung Anlaß gegeben hat, der Restitution zugänglich ist; da dies bekanntlich für z e r s t ö r t e Partien des Zentralnervensystems im allgemeinen nicht zutrifft, wird man auf entsprechende Verläufe nur dann zu rechnen haben, wenn die in Betracht kommenden Territorien nicht direkt verwüstet, sondern durch Nachbarschaftswirkung von angrenzenden Gehirnpartien aus oder noch typischer, weil dabei alle Streitigkeiten über die Abgrenzung von Zentren ausscheiden, von extracerebralen Herden aus (Blutungen zwischen Dura und Gehirn) indirekt geschädigt waren: es ist auch wohl selbstverständlich, daß der klinische Verlauf sich ganz anders gestalten wird, wenn die Störungen durch progrediente Prozesse veranlaßt sind; bei Tumoren und Abscessen des Schläfelappens beobachtet man tatsächlich Verläufe der sensorischen Aphasie, die gerade die Umkehrung der oben geschilderten regressiven Verlaufsformen darstellen, eine Entwicklung z. B. aus einem Stadium fast reiner Wortamnesie bis zum vollentwickelten Bilde der *Wernicke*schen Aphasie. Wichtiger als diese leicht verständlichen Differenzen je nach der Natur der herdartigen Schädigung respektive der Lokalisation des Herdes sind andere Differenzen, die sich einigermaßen unabhängig davon aus dem Gesamtzustand des Gehirnes, der sich klinisch eventuell in dem gesamten psychischen Habitus des Betroffenen spiegelt, zu ergeben scheinen. Gerade in den letzten Jahren hat man angefangen, diesen Differenzen größere Bedeutung beizulegen; man kann sich unschwer überzeugen, daß bei alten Arteriosklerotikern ceteris paribus die Folgen eines Herdes massaler auszufallen und sich weniger gut zu restituieren pflegen als bei jüngeren Kranken mit gesunden Gefäßen, die infolge einer Herzklappenaffektion einen circumscripten Erweichungsherd im Gehirn akquirieren oder durch eine äußere Gewalt (Schädelbruch und ähnliches) aphasisch geworden sind. Man kann auch im allgemeinen sagen, daß jüngere Individuen bessere Restitutionsaussichten haben — doch dürfen diese Einflüsse in ihrer Bedeutung für die Gestaltung des Verlaufes auch nicht überschätzt werden: man beobachtet auch bei alten Arteriosklerotikern gelegentlich auffallend gute Restitutionen und die Kasuistik der Kinderapha-

sien weist andrerseits eine nicht ganz geringe Anzahl ungeheilt gebliebener Fälle auf.

Ganz besonders komplizierte Verhältnisse werden sich ergeben müssen, wenn die aphasischen Störungen sich nicht isoliert, sondern im Rahmen eines anderen, vorwiegend durch psychische Symptome gekennzeichneten Zustandsbildes entwickeln; außer der progressiven Paralyse, bei der man seit langem, abgesehen von den hier nicht zu berücksichtigenden dysarthrischen Störungen, auch anfallsweise auftretende Aphasien kannte, haben neuerdings auch aphasische Störungen bei Epileptikern Interesse erregt; besondere Bedeutung aber scheinen die aphasischen (und agnostisch-apraktischen) Störungen zu gewinnen, die sich bei alten Arteriosklerotikern respektive bei Altersschwachsinnigen nicht akut, sondern ganz chronisch progredient entwickeln. Sie sind besonders bedeutsam, weil sie — wieder von einer anderen Seite her — die besondere Stellung der aphasischen Erscheinungen zwischen den körperlichen und psychischen Erscheinungen zu illustrieren geeignet sind.

Auf eine Verlaufseigentümlichkeit bei mehrsprachigen Individuen sei zum Schlusse ganz kurz hingewiesen: man beobachtet bei ihnen ziemlich konstant, daß die Schädigung nicht alle Sprachen, deren sie mächtig sind, gleichmäßig betrifft, sondern daß die meist geübte (nicht stets die Muttersprache) einigermaßen verschont bleibt respektive sich rascher und besser restituiert; die Rolle einer derartigten bevorzugten Sprache kann bei Kranken, die in starkem Dialekt zu sprechen gewöhnt sind, eben diese Dialektsprache spielen.

Der Geisteszustand der Aphasischen.

Ohne Zweifel sind vor der Umschreibung der sensorischen Aphasie durch *Wernicke* einschlägige Kranke zumeist einfach als „verwirrt" aufgefaßt worden; ebenso zweifellos ist es, daß sich aphasische Störungen sehr häufig bei Kranken neben anderweitigen psychischen Symptomen — Verwirrtheit oder Demenz — entwickeln; die relative Unabhängigkeit der beiden Reihen von Erscheinungen (eine gewisse Beziehung ergibt sich häufig durch das ätiologische Moment, speziell die Gefäßerkrankungen) wird aber namentlich in Fällen deutlich, in denen sich bei vorher schon lange dementen nicht aphasischen Individuen plötzlich aphasische Erscheinungen entwickeln. Unter der Voraussetzung, daß man jede — wenn auch nur partielle — Einbuße als eine eventuell „circumscripte" Demenz bezeichnen will, bestände sicher auch kein Bedenken, in diesem Sinne bei jedem Aphasischen von einer Demenz zu sprechen, wenn auch eine derartige Terminologie begreiflicherweise allen möglichen Mißverständnissen Vorschub leisten würde und schon geleistet hat. Prinzipiell wichtig wäre aber die Frage, ob alle Aphasischen, zum mindesten alle Patienten mit bestimmten Formen von Aphasie neben dem spezifischen Defekte, aber untrennbar mit ihm verbunden, eine allgemeine Herabsetzung der psychischen Leistungsfähigkeit, eine Demenz im Sinne des gewöhnlichen Sprachgebrauches aufweisen. Eine

präzise Beantwortung dieser Frage scheitert vorläufig, abgesehen von der noch mangelnden Einigung über den Begriff der Demenz überhaupt, vor allem daran, daß beim Aphasischen das geeignetste und bestausgebildete Mittel für die Feststellung des Geisteszustandes, eben die sprachliche Verständigung, versagt; ja gerade die Anwendung der sonst üblichen Prüfungsmethoden kann „allgemeine" Defekte vortäuschen, die in Wirklichkeit spezifisch aphasische sind; dies gilt in erster Linie für Defekte der Rechenfähigkeit, die gelegentlich tatsächlich aufgehoben erscheint, bis es bei geduldiger Prüfung gelingt, doch eine Verständigungsmöglichkeit zu finden, die ihr Erhaltensein nachweist; ebenso erweisen sich Störungen der Merkfähigkeit, die ganz besonders den Eindruck der Demenz hervorzurufen geeignet sind, bei spezieller Prüfung nicht ganz selten als auf sprachliche Elemente (das Merken vorgesagter Worte und ähnliches) beschränkt; auch die mangelnde Einsicht für den bestehenden sprachlichen Defekt, die ganz besonders den Eindruck der Verblödung zu machen geeignet ist und in zahlreichen Fällen dieser wohl tatsächlich mit Recht zur Last gelegt wird, darf in anderen Fällen wohl im Sinne einer zuerst von *Anton* aufgestellten Annahme als eine besondere Art von Herdsymptom aufgefaßt werden, wie ja auch zweifellos schon recht demente Kranke der Einsicht für ihre aphasischen Defekte durchaus nicht etwa stets zu entbehren brauchen. Will man tatsächlich wenigstens zu einer Schätzung der geistigen Leistungsfähigkeit der Aphasischen gelangen, so ist man zurzeit noch auf die Bewertung des Gesamtverhaltens des Patienten angewiesen, und man kann sich dann in sehr vielen Fällen überzeugen, daß sich in dieser Beziehung viele Aphasische keineswegs von Geistesgesunden unterscheiden; ja die Gewandtheit, mit der manche Aphasische trotz der schweren Sprachstörung den Konnex mit der Umgebung aufrecht zu erhalten wissen, der Eifer, mit dem sie mit oder ohne Hilfe durch Lese-, Schreib- oder Sprechübungen die Defekte wieder gut zu machen suchen, kann geradezu als ein Argument gegen das Vorliegen einer wesentlichen Intelligenzeinbuße aufgefaßt werden. Leichtere Intelligenzdefekte werden sich allerdings auf diesem Wege der Feststellung entziehen können; für die prinzipielle Frage genügt aber, was sich auf diesem Wege wohl überzeugend und einwandfrei nachweisen läßt: daß von einer quantitativen Übereinstimmung zwischen aphasischen Störungen einerseits und Intelligenzeinbuße andrerseits nicht die Rede sein kann und daß damit auch jede Möglichkeit, zwischen aphasischen und Intelligenzstörungen ein einfaches Abhängigkeitsverhältnis herzustellen, ausscheidet.

Noch schwieriger gestaltet sich begreiflicherweise die Feststellung der Intelligenz bei den Fällen mit umfangreichen agnostisch-apraktischen Störungen, wo neben den — fast nie fehlenden — aphasischen Erscheinungen eben durch die agnostisch-apraktischen Störungen auch das Gesamtverhalten schwer beeinträchtigt ist. Nur die Tastlähmung nimmt auch in dieser Beziehung einigermaßen eine Sonderstellung ein; hier läßt sich relativ sicher eine ungeschädigte Intelligenz nachweisen; auch Kranke mit

einigermaßen isolierter Seelenblindheit erweisen sich nicht selten — gerade auch in der Schilderung und Beurteilung ihres Zustandes — als recht intelligent: in allen Fällen mit schwereren Störungen, namentlich in Form der oben erwähnten agnostisch-apraktischen Mischformen wird man eine allgemeine Beeinträchtigung nicht nur nicht ausschließen, sondern vielfach sogar als sehr wahrscheinlich erachten können; gleichwohl mag darauf hingewiesen werden, daß eingehendere Beschäftigung mit den Kranken dieselben häufig doch viel weniger geschädigt erweist, als es zunächst den Anschein hat, und daß insbesondere schwere Grade von Apraxie durch die Unbeholfenheit aller Leistungen die Kranken — auch dem Erfahrenen — viel schwerer beeinträchtigt erscheinen lassen können, als sie tatsächlich sind. Gegen die Annahme einfacher ursächlicher Beziehungen zwischen Demenz und apraktisch-agnostischen Störungen spricht auch hier wieder das durchaus wechselnde Verhältnis, in dem sich die beiden mischen können, vor allem aber die Beobachtung, daß verschiedene Formen der Demenz (z. B. einerseits paralytische, andrerseits epileptische) sich in ganz verschiedener Weise mit derartigen Störungen zu kombinieren pflegen.

Die anatomischen Tatbestände.

Wie schon eingangs angedeutet, kann sich die grobe topische Diagnostik, die auf die Frage zu antworten sucht, welche anatomischen Veränderungen bei bestimmten klinischen Erscheinungen zu erwarten sein werden, auf welche Erscheinungen intra vitam ein anatomischer Befund zu schließen gestattet, nur der statistischen Methode bedienen, wie sie tatsächlich schon lange vor *Broca* (von *Andral* u. a.), von *Broca* selbst, in dem berühmt gewordenen Referate von *Nothnagel* und *Naunyn* und bis in die neueste Zeit *(v. Monakow, Liepmann)* auch den einschlägigen Erörterungen immer wieder zugrunde gelegt wurde. Sie würde zu ganz eindeutigen Schlußfolgerungen leiten, wenn sie nach Ausschaltung aller nach sonstigen klinischen Erfahrungen bekannten Fehlerquellen (bezüglich möglicher Fernwirkungen, Nachbarschaftserscheinungen u. dgl.) ganz konstante Ergebnisse in dem Sinne zutage förderte, daß gewissen klinischen Erscheinungen in vivo ausnahmslos ebensowohl umschriebene anatomische Veränderungen entsprächen, daß andrerseits diese Veränderungen niemals post mortem zu konstatieren wären, ohne daß, entsprechende Untersuchung natürlich vorausgesetzt, die „zugehörigen" klinischen Symptome bei dem Patienten zu konstatieren waren! Es sei von vornherein betont, daß keineswegs alle Fälle diesen Voraussetzungen entsprechen, daß einzelne mit den Regeln in krassem Widerspruche zu stehen scheinen, während andere verschiedener Deutung zugänglich sind, für die begreiflicherweise der prinzipielle Standpunkt des Untersuchers nicht immer gleichgültig sein wird; es kann aber andrerseits festgestellt werden, daß vor allem die aphasischen, zum kleineren Teil auch die agnostisch-apraktischen Erscheinungen als „Lokalerscheinungen" topisch-diagnostisch im wesentlichen den gleichen

Wert beanspruchen dürfen wie eine Reihe anderer cerebraler Herdsymptome, so daß also nicht nur ihr Vorhandensein, sondern eventuell auch ihr Fehlen praktische lokalisatorische Schlüsse zuläßt. Die Summe dieser Erfahrungen soll im folgenden zunächst dargestellt werden; auf die „Ausnahmen" und die Möglichkeiten ihrer Erklärung soll erst in der weiteren Erörterung eingegangen werden.

1. Die Vorherrschaft der linken Hemisphäre.

Schon lange vor *Broca* hatten *Andral* (1834) und *Dax* sr. (1836) das häufige Zusammentreffen der heute als aphasisch bezeichneten Störungen mit linksseitigen Läsionen des Gehirns respektive rechtsseitiger Hemiplegie beobachtet. Ihre Beobachtungen blieben aber so unbeachtet, daß sie jedenfalls zur Zeit *Brocas* ganz in Vergessenheit geraten waren, vielleicht tatsächlich aus einem Grunde, den *Broca* selbst dafür anführte: daß das Mißtrauen, das sich gegen die Möglichkeit einer Hirnlokalisation überhaupt geltend gemacht hatte, jeden Versuch, gleichen Partien der rechten und linken Hemisphäre differente Funktionen zuzuweisen, von vornherein doppelt suspekt erscheinen lassen mußte. *Broca* selbst, dessen Lokalisationslehre der Aphasie überhaupt nicht an einem Tage fertig zutage trat, sondern ganz allmählich ihre lange unbestritten gebliebene Fassung gewonnen hatte, konnte sich nur sehr allmählich dazu entschließen, eine Auffassung zu akzeptieren, die ihm den Umsturz all unserer hirnphysiologischen Vorstellungen zu bedeuten schien. Er hat sich gleichwohl von der Regelmäßigkeit der Erscheinung überzeugen müssen; er hat sich auch später (1877) sehr eingehend an der Erörterung der — außerhalb dieser Darstellung liegenden — Frage beteiligt, wie die Vorherrschaft der linken Hemisphäre zu erklären ist und die Erfahrung, daß aphasische Störungen auf eine Läsion der linken Hemisphäre weisen, gehört jetzt jedenfalls zu den bestgesicherten in der Lehre von der Lokalisation, mit einer Einschränkung allerdings, die tatsächlich die Bedeutung dieser Feststellung nicht verringert, sondern sie doppelt bedeutsam erscheinen läßt: sie gilt nur für Rechtshänder: beim Linkshänder tritt an Stelle der linken die rechte Hemisphäre. Trotzdem kann nur von einer Vorherrschaft, nicht von einer Alleinherrschaft der linken Hemisphäre in bezug auf die sprachlichen Leistungen gesprochen werden; abgesehen von allen theoretischen Erwägungen, die eine Mitbeteiligung der rechten Hemisphäre wahrscheinlich machen (s. u.), darf vor allem daran erinnert werden, daß ein so entschiedener Anhänger der strengen Lokalisation wie *Wernicke* initiale motorische Aphasie bei rechtsseitigen Herden als ziemlich häufig bezeichnete.

Mehr und mehr wird auch deutlich, daß auch nichtsprachliche Leistungen, namentlich auf motorischem Gebiete, in besonderem Maße von der Intaktheit der linken Hemisphäre abhängig sind; während man dies früher nur für die Ausdrucksbewegungen wußte, für andere sprachlich ausgelöste Bewegungen vermutete, konnte *Liepmann* nachweisen, daß alle Bewegungen ohne Objekt (also außer den sprachlich

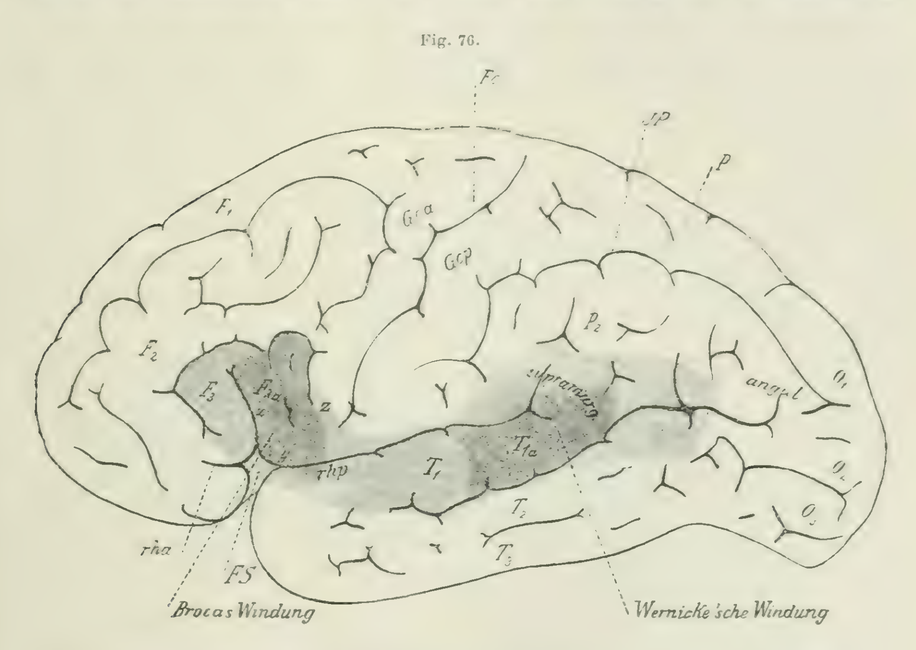
verlangten Bewegungen auch das Nachahmen von Bewegungen), ja in beschränktem Maße auch das Hantieren von Objekten, auch wenn sie linksseitig erfolgen, also von der rechten Hemisphäre aus, grob „innerviert" werden, doch durch Läsionen der linken Hemisphäre, wenn auch in wechselnder, durch die obige Reihenfolge angegebener Stärke beeinträchtigt werden. Die Abhängigkeit von der linken Hemisphäre dokumentiert sich allerdings für die apraktischen Störungen nicht in gleichem Maße wie für die aphasischen; noch weniger ausgesprochen ist die Präponderanz der linken Hemisphäre auf dem Gebiet der agnostischen Erscheinungen; es scheint, als ob das Übergewicht, welches die linke Hemisphäre über die rechte überhaupt und speziell in Bezug auf die Sprache erlangt zu haben scheint, sich auf motorischem Gebiete mehr dokumentierte als auf sensorischem. Immerhin sind sowohl akustische als auch optische Agnosie bei nur linkseitigen Herden beobachtet; am wenigsten scheint eine Mitwirkung der linken Hemisphäre bei den Tastleistungen der linken Hand in Betracht zu kommen, so daß also auch in dieser Beziehung die Tastlähmung unter den übrigen agnostischen Störungen eine gewisse Sonderstellung einnimmt.

2. Die *Broca*sche Stelle.

Schon vor *Broca* hatte zunächst *Gall*, dann mit besseren Gründen *Bouillaud* den Stirnlappen für Störungen der Sprache in Anspruch genommen. Die eigentliche Lehre von der Lokalisation der aphasischen Störungen aber beginnt erst mit dem Eingreifen *Brocas*. Es wäre sehr interesssant zu verfolgen, wie sich ihm unter sehr vorsichtiger Verwertung der tatsächlichen Befunde die Lokalisation einer von Anfang an klinisch genau umschriebenen Störung, der Aphemie, immer enger gestaltet hatte; hier kann nur das Resultat mehrjähriger Untersuchungen berichtet werden: daß für die Aphemie, die Störung der Sprechfähigkeit, das hintere Drittel der linken unteren Stirnwindung (s. Fig. 76 und 77) verantwortlich zu machen ist. Die Anerkennung dieser Lokalisation erfolgte nicht ohne heftigen Widerspruch; nachdem sie sich aber einmal durchgerungen, blieb sie jahrzehntelang eigentlich unbestritten. Erst vor wenigen Jahren hat *P. Marie* alle Bedenken, zu denen zahlreiche Ausnahmen (s. oben) begreiflicherweise immer Anlaß geben mußten, in dem Versuche zusammengefaßt, der *Broca*schen Stelle überhaupt jede besondere Bedeutung abzusprechen und die „Aphemie" in eine wenig scharf umschriebene „Linsenkernzone" zu lokalisieren unternommen. Sein Fehderuf gegen die herrschende Lehre hat zahlreiche Kämpfer auf den Plan gelockt und vor allem zu einer kritischen Nachprüfung alten und neuen Materials Anlaß gegeben; die Erörterungen erinnerten lebhaft an die Diskussionen in den ersten Jahren nach *Brocas* Auftreten. Sie haben allerdings ergeben — im Sinne einer Forderung, die schon seit längerer Zeit von verschiedenen Autoren (*v. Monakow* u. a.) erhoben worden war —, daß sich ein Zentrum der motorischen Aphasie mit so scharfen Grenzen, wie sie für die *Broca*sche Stelle angegeben wurden, nicht aufrecht erhalten läßt, sie haben aber doch, um nur einen der skeptischsten und zur Kritik

der herrschenden Lehre am meisten geneigten unter den maßgebenden Autoren anzuführen, *v. Monakow* zu der Schlußfolgerung geführt, daß „mit Bezug auf die Häufigkeit des Zusammenfallens eines Großhirndefektes mit stationärer motorischer Aphasie keine andere Windungsgruppe mit der *Broca*schen Windung, der vorderen Partie der Insel und dem Operculum wetteifern kann", und daß „keine der in der Umgebung der *Sylvi*schen Grube liegenden Windungen mit Bezug auf Erzeugung von initialen motorisch-aphasischen Erscheinungen für eine roh begrenzte Läsion so vulnerabel ist wie die *Broca*sche Stelle". Mit dieser Erweiterung des für Erzeugung

Fig. 76.



Laterale Ansicht der linken Großhirnhemisphäre mit der Sprachregion. Sprachregion dunkel, die relativen Felder etwas heller schattiert. *FS* Fissura Sylvii; *rha, rhp* Ramus horiz. ant., Ramus horiz. post. der Fissura Sylvii; *Gca, Gcp* vordere, resp. hintere Zentralwindung; F_1, F_2, F_3 erste bis dritte Frontalwindung; *Fc* Fissura centralis; *JP* Interparietalfurche; O_1, O_2, O_3 erste bis dritte Occipitalwindung; T_1, T_2, T_3 erste bis dritte Temporalwindung; *P* oberes Scheitelläppchen; P_2 unteres Scheitelläppchen; *supramarg.* Gyrus supramarginalis; *angul.* Gyrus angularis.

Die Sprachregion nach *v. Monakow* (aus *v. Monakow*, Gehirnpathologie).

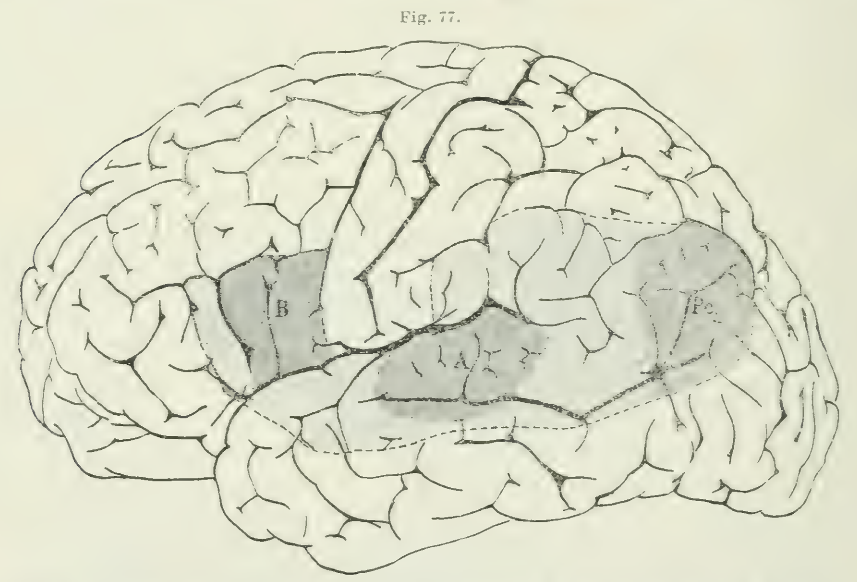
motorischer Aphasie in Betracht kommenden Gebietes, innerhalb dessen der *Broca*schen Stelle im engeren Sinne immer noch ein wesentlicher Platz zukäme, dürfte es auch zusammenhängen, daß es bis jetzt nicht gelungen ist und zurzeit auch kaum mehr aussichtsreich erscheint, die mannigfachen Modifikationen der Bilder von Fall zu Fall aus den heute nachweislichen Differenzen in Lokalisation, Umfang und Gestaltung des Herdes abzuleiten; es muß insbesondere als Resultat zahlreicher und mühevoller Untersuchungen anerkannt werden, daß allgemein von einer Lokalisation der reinen Wortstummheit unter Verschonung der Rinde „subcortical".

wie man nach den schematischen Ableitungen erwartet hatte, nicht gesprochen werden kann.

3. Die *Wernicke*sche Stelle.

Eine ähnliche Entwicklung, wie bezüglich der *Broca*schen Stelle, läßt sich bezüglich der *Wernicke*schen Stelle verfolgen, der Windungspartie, die *Wernicke* als den Ort feststellte, dessen Schädigung die von ihm umschriebene und nach ihm benannte sensorische Aphasie auftreten ließ: zunächst schien sich eine immer engere Lokalisation in den hinteren Partien der ersten Schläfewindung zu ergeben (s. Fig. 76 und 77), neuerdings finden einmal die als die Endstätte der akustischen Bahnen angesprochenen temporalen Querwindungen (in der Tiefe der Insel) größere Beachtung, andrerseits muß mit der

Fig. 77.



Zône du langage nach *Dejerine* (aus *Dejerine*, Sémiologie du système nerveux); *B Broca*sche Windung; *A Wernicke*sche Windung; *Pc* = pli courbe „centre des images visuelles des mots".

Möglichkeit gerechnet werden, daß auch die zweite Schläfewindung, der Gyrus supramarginalis und eventuell auch der Gyrus angularis in Betracht kommen. Nach neueren, allerdings nicht unbestritten gebliebenen Untersuchungen von *Quesnel* wäre es auch möglich, wenn auch nicht in jedem Einzelfall, doch generell-statistisch gewisse Beziehungen der speziellen Symptomatologie zur engeren Lokalisation innerhalb dieser Sphäre nachzuweisen (s. auch sub 4); andrerseits haben sich einzelne Fälle reiner Sprachtaubheit nachweisen lassen, die tatsächlich durch anatomisch subcorticale Herde bedingt waren. Die Bedeutung dieser letzten Feststellung wird allerdings durch die Erfahrung eingeschränkt, daß nicht jeder subcorticale Herd im Schläfelappen zu bleibender Sprachtaubheit führt und daß andrerseits auch Fälle reiner

Sprachtaubheit bei andersartiger Lokalisation (doppelseitige corticale Schläfenherde) konstatiert wurden.

4. Die übrigen Partien der Aphasieregion.

Auch wenn man im Sinne der vorstehenden Ausführungen die Zentren der motorischen und sensorischen Aphasie nicht auf die ursprünglich dafür in Anspruch genommenen *Broca*schen respektive *Wernicke*schen Stellen beschränkt, umfassen die so sich ergebenden Lokalisationen noch nicht die Gesamtheit derjenigen Partien, deren Läsion zu aphasischen Störungen Anlaß zu geben pflegt, respektive auf die Gestaltung der aphasischen Erscheinungen von Einfluß zu sein scheint, und die man als Sprachregion (zône du langage der Franzosen, nach *v. Monakow* eigentlich richtiger „Aphasieregion") bezeichnet. Die beiden Fig. 76 und 77 illustrieren ihre Begrenzung nach der Auffassung zweier nicht nur um die Klinik, sondern vor allem auch um die anatomische Begründung der Aphasie besonders verdienter Autoren: *Dejerine* und *v. Monakow*. In beiden findet sich die *Broca*sche respektive *Wernicke*sche Stelle dunkler getönt; die Umgrenzung ist in der Hauptsache in beiden Darstellungen gleich; als wesentliche Differenz sei nur hervorgehoben, daß *v. Monakow* die untersten Partien der vorderen Zentralwindung (mit den Foci x y z für die Zungen-, Lippen- usw. Bewegungen) ausdrücklich mit zur Aphasieregion rechnet, während *Dejerine* die Zentralwindungen nicht in die Sprachzone eingehen läßt.

Zur Aphasieregion wäre weiter die in den Abbildungen nicht in die Erscheinung tretende, in der Tiefe zwischen Stirn- und Schläfelappen gelagerte Insel zu rechnen, deren Bedeutung für das Zustandekommen aphasischer Erscheinungen allseitig anerkannt wird, ohne daß es zu einer Einigung über das Wesen der „Inselaphasie" gekommen wäre. Im wesentlichen theoretische Überlegungen (s. u.) hatten zunächst dahin geführt, die Inselgegend für die Leitungsaphasie, respektive ihr Hauptsymptom: die Störung des Nachsprechens in Anspruch zu nehmen; die Erfahrungen haben die theoretischen Voraussetzungen nicht bestätigt; weitgehende Zerstörungen des Inselareals sind jedenfalls mit Erhaltenbleiben des Nachsprechens vereinbar; ob etwa genauere Scheidung der verschiedenen Formen des Nachsprechens (s. o.) Beziehungen einer derselben zur Insel erweisen wird, wäre noch durch eingehendere Untersuchungen festzustellen; zur Zeit bestätigen die Erfahrungen nur einen an sich nahe liegenden Schluß: daß nämlich, je nachdem die Läsionen mehr die vorderen oder die hinteren Partien der Insel betreffen und damit sich mehr dem motorischen oder dem sensorischen Sprachzentrum nähern, vorwiegend motorisch-respektive sensorisch-aphasische Störungen auftreten werden. Ein spezifischer Typus der Inselaphasie läßt sich derzeit noch nicht aufstellen.

Etwas eingehender sind wir über die Folgen einer Läsion in den hinteren (occipitalwärts reichenden) Partien der Aphasieregion unterrichtet. Zunächst darf auf die Erfahrung hingewiesen werden, daß die Erscheinung

der amnestischen Aphasie (Wortamnesie) auffallend häufig durch Läsionen dieser Gegend, respektive durch Unterbrechung temporo-occipitaler Verbindungen hervorgerufen wird, wenn sie auch nicht gerade als für diese Region spezifisch gelten darf.

In viel höherem Maße spezifisch für diese in den occipitalen Ausläufern der Aphasieregion gelegenen Herde scheinen Lesestörungen, namentlich die schweren, schon das Lesen von Einzelbuchstaben beeinträchtigenden; die Darstellung *Dejerines* läßt demnach auch in dieser Gegend (*Pc* = pli courbe) neben dem motorischen und sensorischen Sprachzentrum noch ein drittes, ein „Lesezentrum" erkennen, das in *v. Monakows* Schema fehlt: die Differenz bezieht sich aber nicht auf die rein topographische Frage, ob Beziehungen dieser Gegend zu Lesestörungen bestehen, sondern auf die andere hier zunächst auszuscheidende, ob im Gyrus angularis (Pli courbe) ein der *Broca*schen respektive *Wernicke*schen Stelle direkt zu analogisierendes Rindenzentrum zu postulieren ist. Die gerade bezüglich der Alexie sehr nachhaltig unternommenen Versuche, engere Beziehungen zwischen den verschiedenen Modifikationen respektive Unterformen der klinischen Bilder einerseits und den anatomischen Läsionen andrerseits herzustellen, haben auch in dieser Gegend noch zu keinen allgemein anerkannten Ergebnissen geführt; zurzeit läßt sich auf Grund der erweislichen Differenzen in der Lokalisation der Herde noch nicht einmal entscheiden, warum die beiden hauptsächlich in Betracht kommenden Symptomengruppen (wortamnestische und alektische Störungen) bei derartiger Lokalisation in sehr wechselndem gegenseitigen Verhältnisse auftreten können.

Die früher erwogene Ausdehnung der Aphasieregion nach vorne und oben (das „Schreibzentrum" *Exners* in der zweiten Stirnwindung) wird von der Mehrzahl der Autoren nicht mehr angenommen; soweit der Schreibstörung eine besondere Lokalisation entspricht, dürfte sie vielmehr mit jener der Apraxie zusammenfallen, für die allerdings nach der Ansicht einzelner Autoren Partien des Stirnhirns in Betracht kämen (s. u.).

5. Die Lokalisation der agnostischen und apraktischen Störungen.

Die Lokalisation der agnostischen und apraktischen Störungen ist zum Teil noch mehr umstritten als die der aphasischen. Die hier zu gebende Übersicht kann deshalb zurzeit nicht wie die über die Lokalisation der Aphasie von den einzelnen Territorien ausgehen, sondern sie muß sich darauf beschränken, zu registrieren, was über die Lokalisation der verschiedenen Symptomenkomplexe bekannt ist.

Ganz geklärt sind die Verhältnisse nicht einmal bezüglich der Tastlähmung, trotzdem sie — angesichts der Einseitigkeit der in Betracht kommenden Herde — hier relativ einfach zu liegen scheinen; beschränkt man sich auf die wirklich als Tastlähmung sens. strict. anzusprechenden Fälle, sieht also von all denen ab, in denen die Unfähigkeit zum tastenden Er-

kennen durch schwere sensible Störungen bedingt ist, wie sie durch jede beliebige Störung im Verlaufe der sensiblen Bahn bedingt sein können, so läßt sich zunächst feststellen, daß die Tastlähmung Ausdruck einer corticalen Läsion ist; bezüglich der engeren Begrenzung des in Betracht kommenden corticalen Gebietes bestehen aber noch nicht unbeträchtliche Differenzen; während *Wernicke*, der Schöpfer des Begriffes der Tastlähmung, geneigt war, beide Zentralwindungen dafür in Anspruch zu nehmen, geht die heute wohl meist verbreitete Annahme dahin, daß dafür wesentlich die hintere Zentralwindung in Betracht komme, also dasjenige Areal, das auch als Projektionsfeld der Sensibilität gilt; daneben wird aber auch der occipitalwärts daran sich anschließende Scheitellappen und von einzelnen Autoren auch die vordere — motorische — Zentralwindung mit dem Auftreten taktil-agnostischer Störungen in Beziehung gebracht. Von ganz seltenen Ausnahmen abgesehen bedingt einseitige Läsion Tastlähmung der kontrolateralen Hand, wie ja die Tastlähmung überhaupt die einzige regulär einseitig auftretende agnostische Störung darstellt.

Über die Lokalisation der Seelentaubheit ist angesichts der Seltenheit einschlägiger Beobachtungen wenig bekannt; jedenfalls bestehen Beziehungen zu Läsionen des Schläfelappens, die aber, trotzdem die Seelentaubheit stets doppelseitig auftritt, auch einseitig sein können.

Die Seelenblindheit hat jedenfalls Beziehungen zu Läsionen des Occipitallappens; ziemliche Übereinstimmung herrscht auch darüber, daß für die Erscheinungen von Seelenblindheit vor allem Läsionen in den lateralen Partien des Occipitallappens (respektive seines Markes) in Betracht kommen, also Läsionen in nächster Umgebung derjenigen, welche links zu Alexie zu führen pflegen; (die medianen haben wohl engere Beziehungen zur Rindenblindheit); dagegen ist es bis jetzt nicht möglich gewesen, zu einer genaueren Lokalisation der Einzelerscheinungen zu kommen, ja wie bezüglich der Alexie (s. o.) muß vielfach die Frage offen bleiben, wie viel von den klinischen Symptomen Läsionen der Rinde, wie viel Unterbrechungen der unterhalb derselben verlaufenden Bahnen zur Last zu legen ist. Meist, namentlich da, wo die Störungen dauernd geblieben sind, fanden sich doppelseitige Herde, doch ist auch die Zahl der Fälle, in denen einseitige (vornehmlich linkseitige) Läsionen Seelenblindheit veranlaßt haben, nicht ganz gering.

Den relativ häufigen Fällen agnostisch-apraktischer Mischformen entsprachen zum Teil umfangreiche doppelseitige Herde der Schläfe-, Scheitel-, Hinterhauptsgegend; als Grundlage lokal-diagnostischer Erwägungen sind derartige Fälle — unbeschadet ihrer sonstigen Bedeutung — schon deshalb nicht geeignet, weil sie meist noch mit diffusen atrophischen Zuständen kombiniert auftreten, deren Bedeutung für die Gestaltung des klinischen Bildes schon daraus erhellt, daß sie allein, also ohne das Auftreten makroskopisch erweisbarer Herde, auch zu gleichartigen Symptomenkomplexen führen können.

Die Frage der Lokalisation der apraktischen Störungen befindet sich noch durchaus im Flusse. *Meynert*, der sich zuerst mit der Frage der

Lokalisation der Apraxie („motorische Asymbolie") beschäftigt hatte, war geneigt, sie auf eine Schädigung der Zentralwindungen zurückzuführen; aber weder der eigene Belegfall *Meynerts*, noch irgend welche späteren Beobachtungen waren geeignet, die — an sich sehr plausible — Annahme zu erhärten; ja die Beobachtung, daß die durch oberflächliche Läsionen der Zentralwindungen zustande kommenden Monoparesen des Armes jedenfalls nicht zu nennenswerten apraktischen Störungen zu führen pflegen, steht dieser Annahme einigermaßen im Wege; neuerdings (*Hartmann*) hat man Läsionen des Stirnhirns in noch nicht genauer zu bestimmender Begrenzung für die Entstehung der Apraxie verantwortlich gemacht. Am häufigsten aber sind zurzeit noch die Beobachtungen, in denen apraktische Störungen durch Läsionen occipitalwärts von den Zentralwindungen verursacht werden, ohne daß es bis jetzt möglich wäre, das in Betracht kommende Areal genauer zu umschreiben oder Beziehungen der klinisch festzustellenden Unterformen und Modifikationen zu Differenzen in der Lokalisation festzustellen.

Gesichert erscheint dagegen auf Grund neuerer Beobachtungen die Bedeutung von Läsionen des Balkens, respektive der im Balken kreuzenden Verbindungen zwischen den beiden Hemisphären eventuell schon vor dem Eintritt in den Balken, für das Zustandekommen apraktischer Störungen in der linken Extremität; ihre theoretische Bedeutung wird im weiteren zu würdigen sein; hier sei nur daran erinnert, daß der Zusammenhag bereits hinreichend gesichert erscheint, um — natürlich unter Berücksichtigung aller sonstigen Momente — die linkseitige Apraxie zugunsten der Diagnose Balkenläsion heranzuziehen.

Die Lokalisation der Einzelsymptome und Theoretisches.

1. Allgemeines.

Aus den im vorstehenden in ihren Hauptzügen geschilderten Ergebnissen der topisch-diagnostischen Forschungen lassen sich unmittelbar keinerlei Schlüsse auf die Funktion der jeweils geschädigten Gehirnteile ziehen; man wird sich bei allen einschlägigen Erörterungen zweckmäßig einer Warnung erinnern dürfen, die schon vor langer Zeit von *Naunyn*, neuerdings ganz besonders nachdrücklich von *v. Monakow* ausgesprochen wurde: daß wir nämlich auf diesem Wege zwar zu einer Lokalisation der Aphasie, aber nicht zu einer Lokalisation der Sprache gelangen können. Bei jedem Versuche in dieser letzteren Richtung wird man aber weiterhin einer gleichfalls schon vor langem — vor 40 Jahren schon von *Steinthal* — erhobenen, scheinbar wohl zuweilen vergessenen und dann wieder mit neuem Nachdruck ausgesprochenen Mahnung eingedenk bleiben müssen, nämlich sich klar zu machen, „wofür oder inwiefern oder wie es überhaupt für geistige Funktionen ein lokal begrenztes Organ im Gehirn geben kann". Wie schon die Formulierung ausdrückt, handelt es sich hier um ein Problem, das nicht der Aphasieforschung spezifisch eigen ist,

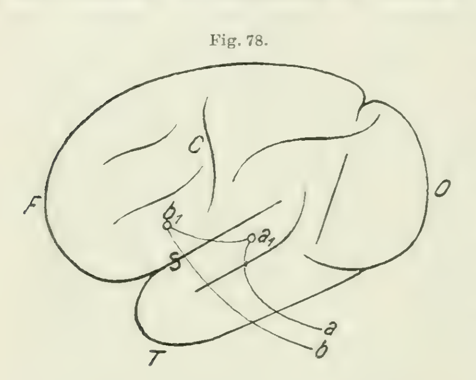
das deshalb auch nicht durch die Aphasieforschung gelöst werden kann und dessen Ungelöstsein auch nicht, wie es manchmal beinahe versucht wird, den Schwächen der Aphasieforschung zur Last gelegt werden darf. Versucht man aber, der Forderung *Steinthals* zu genügen, dann wird man sich sehr bald vor einer, zunächst wohl unüberschreitbar scheinenden Schranke finden, sobald man nämlich vor die Aufgabe gestellt wird, aus den bekannten oder vorstellbaren Vorgängen im Nervensystem Lebenserscheinungen und vor allem psychische Erscheinungen abzuleiten. Man wird, ohne demnächstige Widerlegung fürchten zu müssen, wohl aussprechen dürfen, daß wir auf diese Frage die Antwort schuldig bleiben werden, solange sich uns nicht ganz neue, derzeit nicht zu ahnende Erkenntnismöglichkeiten eröffnen. Berücksichtigt man diesen Gesichtspunkt, so gelangt man unschwer zu der Einsicht, daß manche Differenzen in den Auffassungen der Autoren sich nicht auf spezielle Fragen der Aphasie — ja der Gehirnlokalisation überhaupt — sondern auf Differenzen in dieser ganz grundsätzlichen Betrachtungsweise beziehen; ja, wenn sich gerade in den letzten Jahren vielfach eine gewisse resignierte Auffassung und Stellungnahme zu den einschlägigen Fragen geltend zu machen scheint, so sind dafür sicher viel weniger die Lücken und Enttäuschungen in der speziellen Aphasieforschung verantwortlich zu machen, als eine weitverbreitete Änderung der Stellungnahme zu den einschlägigen Problemen, die sich nicht nur auf medizinisch-naturwissenschaftlichem Gebiete, sondern weit darüber hinaus nachweisen läßt und deren Wurzeln hier nicht aufgesucht werden können.

Jene der Erkenntnis gesetzte Schranke hatte nun eigentlich schon *Broca* zu überschreiten unternommen, wenn er in das von ihm festgestellte Zentrum eine „espèce de mémoire de coordonner les mouvements propres au langage articulé" verlegte, später es kürzer als „siège du langage articulé" bezeichnete; der gleiche Vorwurf ließe sich gegen *Wernicke* erheben, wenn er Erinnerungsbilder abgelaufener Sinnesempfindungen in der Gehirnrinde, speziell solche von Klangbildern im Schläfelappen deponiert sein läßt. Man hat auch tatsächlich gegen die Annahme einer „Lokalisation der Vorstellungen" immer wieder Einwendungen erhoben, deren Berechtigung um so weniger verkannt werden soll, als diese Auffassung tatsächlich die Gefahr mit sich brachte, daß in schematischer Weise zuletzt einzelne Vorstellungen als in einzelnen Zellen deponiert gedacht werden konnten. Man hat, um diesen Gefahren zu entgehen, sich namentlich im Laufe der letzten Dezennien bemüht, Darstellungsweisen zu finden, die einer derartigen Gefahr vorbeugen und eine allzu schematische Auffassung unmöglich machen sollten; es kann aber kaum wundernehmen, daß sich auch gegen alle diese Formulierungen im wesentlichen wieder die gleichen Einwendungen erheben ließen, gleichviel ob sie sich metaphorischer, aus den exakten Naturwissenschaften herübergenommener Ausdrücke bedienen oder neugeformte psychologische Begriffe und Termini zugrunde zu legen versuchen. Sieht man mit *Freud* in der „Lokalisation der Vorstellungen" einen

elliptischen Ausdruck, der nur jedesmalige lange Umschreibungen entbehrlich machen soll, so wäre er auch jetzt noch zulässig; da er aber tatsächlich immer wieder zu Mißverständnissen Anlaß gibt, empfiehlt es sich vielleicht, ihn zu vermeiden.

Berechtigter und wohl auch fruchtbarer war die Kritik, die sich gegen eine andere Seite der Aphasielehre erhob und noch immer weiter tätig ist; in der vorgehenden Darstellung sind die empirischen Zusammenhänge bestimmter Ausfallserscheinungen mit bestimmten herdartigen Affektionen geschildert. Es ist nun nicht unwichtig, sich daran zu erinnern, daß von diesen Zusammenhängen ursprünglich nur der zwischen Läsionen der *Broca*schen Stelle mit Störungen der Sprechfähigkeit empirisch eruiert war; die Entdeckung der *Wernicke*schen Stelle geschah zunächst auf Grund theoretischer Erwägungen, zu denen *Wernicke* an der Hand *Meynert*scher Vorstellungen gelangt war, und die Sektionsbefunde bestätigten erst nachträglich die Richtigkeit dieser Ableitungen.

Fig. 78.



Als Leitfaden hatte *Wernicke* bei seinen Erwägungen ein Schema gedient, das den Sprechakt als einen Reflexvorgang behandelte und in seiner ursprünglichsten und einfachsten Form die folgende Gestalt trug (s. Fig. 78):

Dieses Schema ließ sich unmittelbar auf das Gehirn übertragen und in dieses einzeichnen (a_1 entspricht der *Wernicke*schen, b_1 der *Broca*schen Stelle); im weiteren ergab sich aber alsbald die Notwendigkeit, die Verbindungen der spezifischen Sprachzentren mit der übrigen Gehirnrinde zu berücksichtigen: es entstand so das berühmte *Lichtheim*sche Schema, in dem *B* (Begriffszentrum) dieser Gesamtheit entsprach, und aus dem dann die 7 Hauptformen (1, 2, 3, die corticale, subcorticale und transcorticale sensorische, 4, 5, 6 die entsprechende motorische, 7 die Leitungsaphasie) abgeleitet wurden (s. Fig. 79). Eine unmittelbare Übertragung dieses Schemas auf das Gehirn erscheint nicht mehr möglich; das ergibt sich am eindeutigsten, wenn man mit *Wernicke* das Zentrum *B* (noch grob genug) in seine einzelnen Komponenten, d. h. die zentralen Sinnesprojektionsfelder auflöst (s. Fig. 80). Noch weniger läßt sich dies durchführen, wenn man, wie es *Wernicke* ganz grob schematisch schon in seiner grundlegenden Untersuchung getan hatte, auch die wirklichen Verhältnisse beim Lesen und Schreiben zu berücksichtigen versucht. Es soll hier nicht auf die von *Freud* aufgeworfene und mit guten Gründen verneinend beantwortete Frage eingegangen werden, ob überhaupt die strenge Scheidung zwischen Zentren einerseits und Assoziationsbahnen andrerseits, die all diesen schematischen Aufstellungen zugrunde liegt, berechtigt und durchführbar ist. Es genüge daran zu

erinnern, daß, auch wenn diese theoretischen Voraussetzungen als richtig anerkannt werden, die anatomischen Verhältnisse notwendig dazu führen müssen, daß kaum jemals Zentren und Bahnen unabhängig voneinander lädiert werden können und daß vor allem nur ganz ausnahmsweise Projektions- (subcorticale) und Assoziations- (transcorticale) Bahnen isoliert geschädigt werden können.

Trotzdem hat man mit diesen schematischen Ableitungen, deren heuristischer Wert übrigens gar nicht hoch genug veranschlagt werden kann und deren Bedeutung sich schon daraus ergibt, daß sie uns eine noch heute nicht durch Besseres ersetzte Orientierung in der Vielheit der Erscheinungen ermöglicht haben, lange Zeit wie mit Wirklichkeiten gerechnet; man hat immer wieder den Versuch gemacht, zu bestimmen, welche Symptome auftreten mußten, wenn in immer komplizierter gewordenen Schemen Unterbrechungen an bestimmten Punkten auftraten; man hat andrerseits vielfach auf Grund und zugunsten vereinzelter Fälle Modifikationen des Schemas vornehmen zu müssen geglaubt, die nach der jeweiligen Autoren Meinung generelle Geltung beanspruchen sollten; man war auf diesem Wege zuletzt zu jenen zum Teil phantastisch anmutenden schematischen Konstruktionen gelangt, die zunächst schon das Haupterfordernis jedes Schemas, die Übersichtlichkeit, vermissen ließen und man mußte sich zuletzt doch — und diese Einsicht scheint ziemlich allgemein geworden zu sein — überzeugen, daß sich die Fülle der Erscheinungen nicht restlos in den schematisch aufgestellten Formen unterbringen ließ und daß insbesondere diese schematisch abgeleiteten Symptomengruppen nicht die geeignete, jedenfalls nicht die bestgeeignete Grundlage für die Bemühungen um eine verfeinerte Lokalisation darstellten.

Fig. 79.

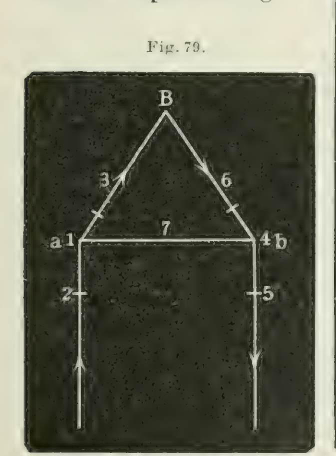
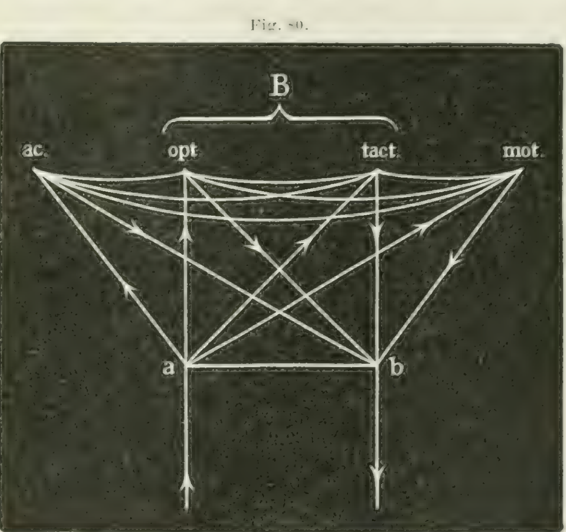


Fig. 80.



Hatte man früher, verleitet durch den glänzenden Erfolg *Wernickes*, mit der Lokalisation des zunächst (siehe oben) theoretisch abgeleiteten

Komplexes der sensorischen Aphasie, immer wieder den Versuch gemacht, in gleicher Weise komplizierte Bilder auf einheitliche Herde, respektive Schädigung bestimmter Bahnen und Zentren zurückzuführen, so geht das Bestreben neuerdings wieder mehr dahin, wie es übrigens auch früher gelegentlich immer wieder versucht wurde, einzelne Symptome zu lokalisieren und die jeweilige Kombination von Symptomen aus den allgemeinen Verhältnissen oder aus den Besonderheiten des Einzelfalles verständlich zu machen.

Die Zuversicht, mit der man dieser weiteren Entwicklung der Aphasielehre entgegensieht, ist allerdings nicht überall gleich groß: es ist von vornherein verständlich, daß sich die statistische Methode, auf Grund deren uns die grobe Lokalisation gelungen ist, auf die feinere Lokalisation der Einzelstörungen kaum anwenden läßt: die Zahl der identischen, einer solchen statistischen Betrachtungsweise zugänglichen Fälle wird natürlich um so kleiner, je feiner differenziert die zu verwertenden Erscheinungen werden: dazu kommt, daß von dem älteren Material, das für die grobe Lokaldiagnose herangezogen werden kann, nur ein verschwindender Teil klinisch und anatomisch ausreichend untersucht ist, um für die feinere Lokalisation überhaupt in Betracht zu kommen, daß aber überdies nur auserlesene Fälle — selbst angenommen, daß sowohl die klinische als auch die anatomische Untersuchung vollständig ausreichend geschieht — so gelagert sind, daß man zu Schlüssen nach dieser Richtung berechtigt wäre; auch dann noch wird man sich bei diesen Schlüssen all der Fortschritte auf zahlreichen anderen Gebieten zu erinnern haben, die seit den ersten Versuchen zur Lokalisation der Aphasie gemacht sind: Entwicklung der normalen Anatomie des Gehirns, sowohl bezüglich der Faseranatomie als auch der myelogenetischen und cytoarchitektonischen Befunde, vergleichend-anatomische und physiologische Tatsachen, allgemein hirnpathologische und experimentell-pathologische Erfahrungen, daneben auch weite Gebiete der Sprachphilosophie.

Es kann angesichts der hier nur in ihren gröbsten Umrissen skizzierten Sachlage nicht wundernehmen, wenn manche Autoren alle Versuche, zu einer detaillierten Lokalisation der aphasischen Erscheinungen zu gelangen, überhaupt als aussichtslos ansehen: diese Resignation hat ihren ersten präzisen Ausdruck wohl vor zirka 20 Jahren in den Ergebnissen gefunden, zu denen *S. Freud* in einer kritischen Betrachtung der Aphasielehre gelangt war. Auch er erkannte die Lokalisation der groben Komplexe an: er glaubte aber, daß diese Lokalisation nur durch die Beziehungen des Sprachfeldes zu den Projektionsfeldern (der Motilität, des Acusticus und Opticus) bedingt sei, und er hielt jeden Versuch, die komplizierten Assoziationen und Übertragungen innerhalb des Sprachfeldes selbst respektive ihre Störungen und damit die feineren Details der aphasischen Erscheinungen auch unter anatomischen Gesichtspunkten verständlich zu machen, für hoffnungslos. Seine Anschauung, als deren wesentlichstes Moment die Annahme eines — auch funktionell nicht weiter zu differen-

zierenden — „Sprachzentrums" angesehen werden kann, hat zahlreiche Anhänger respektive Nachfolger gefunden, wenn auch die Formulierung des Gedankens bei späteren Autoren zum Teil anders erfolgte; auch die Auffassung *P. Maries*, nach der das wesentliche aller aphasischen Störungen ein „déficit intellectuel" darstellte, dürfte im wesentlichen damit übereinstimmen.

Gerade wenn man sich vergegenwärtigt, wie viel tatsächliche Feststellungen noch zu treffen wären, wie sehr also das der Beurteilung zugrunde zu legende Material noch zu bereichern wäre, erscheint eine derartige Skepsis zunächst jedenfalls noch nicht berechtigt. Das eine allerdings darf wohl jetzt schon als gesichert gelten, daß sich eine so starre Lokalisation, wie sie die älteren schematischen Darstellungen vorausgesetzt hätten, zuletzt nicht ergeben wird. Damit stehen — abgesehen von allen theoretischen Bedenken — zwei Tatsachen im Widerspruch, die aus den eingehenderen Untersuchungen der späteren Jahre immer deutlicher geworden sind und die bei jeder Erklärung berücksichtigt werden müssen: einmal die sogenannten negativen Fälle, dann aber ganz besonders die Rückbildungserscheinungen. Beide nötigen zu gewissen Modifikationen der ursprünglichen starren Auffassungen; auf diese Modifikationen respektive Hilfshypothesen sei im folgenden zunächst noch eingegangen, bevor der Versuch gemacht wird, zu erörtern, wie weit sich — mit den oben gemachten grundsätzlichen Einschränkungen — auf Grund unseres gegenwärtigen Wissens ein Verständnis für das Zustandekommen der aphasischen Erscheinungen respektive die Vorgänge bei den sprachlichen Funktionen gewinnen läßt.

Von den sogenannten negativen Fällen werden diejenigen die geringsten Erklärungsschwierigkeiten bereiten, die *Liepmann* als anatomisch negative bezeichnet hat, diejenigen, in denen der anatomische Befund vermißt wird, der nach Maßgabe der klinischen Erscheinungen zu erwarten war; die Berücksichtigung von Fern- und Nachbarschaftserscheinungen sowie der örtlich begrenzten Atrophien wird die Mehrzahl dieser Fälle klären; bei Verwertung der Literatur ist überdies zu berücksichtigen, daß die gestellten Diagnosen (namentlich motorischer Aphasie!) nicht immer dem klinischen Tatbestande entsprechen, so daß also die aus dem negativen anatomischen Befunde sich ergebende Schwierigkeit nur eine scheinbare ist.

Dagegen verdienen die klinisch negativen Fälle — in denen also die klinischen Erscheinungen nicht beobachtet wurden, auf die der konstatierte Herd hätte schließen lassen, — ebenso eingehende Würdigung wie die Tatsache der Restitution, bei der noch die individuellen Differenzen in den Vorgängen bei der Restitution besonders zu berücksichtigen wären. Beide sind kaum voneinander zu trennen; es leuchtet ein, daß für denjenigen Untersucher, dem die Vorgeschichte nicht bekannt ist, ein Fall restituierter Aphasie — gleichviel welcher Art — einem klinisch negativen gleichstehen muß.

Man hat zur Erklärung all dieser Erscheinungen auf Momente rekurriert, die man sich — im Gegensatz zu den rein lokalisatorischen — als funktionelle zu bezeichnen gewöhnt hat; auf ein wichtiges Moment derart hat zuerst *Ch. Bastian* hingewiesen, auf die Folgen partieller, nicht zur vollständigen Funktionsaufhebung führender Läsionen bestimmter Gebiete; nach *Bastians* durch *Freud* aufgenommener Darstellung wäre ein Zentrum je nach dem Maße der erlittenen Schädigung eben noch imstande, auf Reize verschiedener Intensität (auf äußeren sensorischen Reiz, assoziativ, willkürlich) in entsprechender Weise zu reagieren. Abgesehen von der Formulierung, die vielleicht besser durch eine andere zu ersetzen wäre, wonach eine Funktion um so mehr Aussicht des Gelingens hat, je eindeutiger sie aus der Aufgabe bedingt war, wurde mit diesem Hinweise sicher ein bedeutsames Moment in die Betrachtung eingeführt, namentlich gegenüber einer Auffassung, die an der Hand des Schemas nur mit totalen Ausfällen zu rechnen gewohnt war; der Versuch aber, diese Auffassung generell der Erklärung der Störungsmodifikationen und aller Rückbildungsvorgänge zugrunde zu legen, scheitert an der gesicherten Erfahrung, daß nicht ganz selten gerade die Funktionen, die im Sinne *Bastians* als begünstigt zu gelten hätten, schwerer respektive länger geschädigt erscheinen als die „schwierigeren" Leistungen. Vielleicht ergeben sich brauchbare Gesichtspunkte bezüglich der „Schwierigkeit" unter Berücksichtigung der schon oben berührten Frage, ob die gestörte Funktion einem einheitlichen Vorgang entspricht oder sich aus einer Mehrzahl solcher grob trennbarer und eventuell auch getrennt zu untersuchender zusammensetzt.

Manche Schwierigkeiten glaubte man weiterhin unter Berücksichtigung eines vor allem von *Charcot* betonten Gesichtspunktes erklären zu können. Ausgehend von der wechselnden individuellen — bald mehr visuellen, bald mehr auditiven, bald mehr motorischen — Veranlagung ließ er auch für die Sprache die entsprechenden Gebiete jeweils eine überwiegende Rolle spielen, so daß gleiche Schädigungen ganz differente Bedeutung gewinnen mußten; ohne Zweifel werden diese Differenzen auf die Gestaltung der Lese- und Schreibstörungen von Einfluß sein können, wenn dieser auch lange nicht so deutlich in die Erscheinung tritt, wie derjenige der Lese- und Schreibgewandtheit; daß die Differenzen aber auch für Sprechen und Sprachverständnis von wesentlicher Bedeutung sind, ist nicht sichergestellt, und auch von französischen Autoren wird ihr Einfluß nach dieser Richtung neuerdings bezweifelt.

Viel wichtiger als dieses auf Grund individueller Besonderheiten erfolgende Vikariieren im Sinne von *Charcot* scheinen diejenigen Ersatzvorgänge zu sein, die sich generell auf Grund der allgemeinen Organisation des Gehirns abspielen können. Ihre Bedeutung hat namentlich *Anton* unter allgemein biologischen Gesichtspunkten erörtert. Gegen derartige Ersatzvorgänge und ihre Heranziehung bei der Frage der Lokalisation hat sich neuerdings ganz besonders *v. Monakow* ausgesprochen. An ihre Stelle zur

Erklärung der Restitutionsvorgänge setzt er seine Hypothese der Diaschisis, „einer meist durch akute Herdläsion ausgelösten shockartigen Funktionshemmung in primär nicht lädierten, vom Herd fernliegenden, aber mit diesem anatomisch verbundenen Hirnstellen“; die Wirkung wäre „nicht in einer von den lädierten Hirnteilen ausgehenden abnormen Reizwirkung, sondern in einer passiven Störung (Lähmungserscheinung, negativer Reiz) zu erblicken“. Der vermeintliche Ersatz wäre dann durch Aufhören der Diaschisiswirkung bedingt. Die hier nur in ihren Grundzügen angedeutete Hypothese ist von *v. Monakow* — auch unter Berücksichtigung der feineren anatomischen Verhältnisse — im Detail ausgestaltet und auch zur Erklärung nichtaphasischer Störungen herangezogen worden. Gegen das Prinzip der Annahme werden kaum grundsätzliche Bedenken zu erheben sein, soferne sie den Versuch macht, zu erklären, in welcher Weise ein Herd seine Wirkungen zu entfalten vermag. Dagegen vermag auch sie weder die negativen Fälle noch die Restitution besser zu erklären als die geltende Auffassung, so lange sie wenigstens nicht darüber Auskunft zu geben vermag, warum sich die Diaschisis manchmal überhaupt nicht oder nur ganz initial in der Hervorbringung aphasischer Störungen geltend macht, andere Male (bei den Fällen mit stationär bleibenden Ausfällen) dauernd bleibt, ohne daß jeweils besondere Momente das Auftreten oder die „Überwindung der Diaschisis“ verhindert hätten; sie würde auch viel eher verständlich machen, daß verschieden lokalisierte Schädigungen, eben auf dem Wege der Diaschisis immer wieder gleiche elementare Störungskomplexe zustande kommen ließen, während man in Wirklichkeit umgekehrt gerade differente klinische Erscheinungen auftreten sieht, die durch Verschiedenheiten der Lokalisation nicht ausreichend erklärt werden. Auch nach der Annahme der Diaschisishypothese würden also die Schwierigkeiten, denen die herrschende Lokalisationslehre gegenübersteht, nicht beseitigt; man wird überdies auch dann dem „anatomischen Moment“, der Frage, an welcher Stelle die Diaschisis einsetzt, wie dies auch *v. Monakow* selbst betont, noch Bedeutung zuerkennen müssen. Gegen ein Wiederaktivwerden nur vorübergehend durch Diaschisis gestörter Leistungen und im Sinne eines wirklichen Neuerwerbes durch Eintreten vikariierender Hirnpartien spricht besonders die Beobachtung, wie leicht derartige „wiedererworbene“ Leistungen bei mangelnder Übung wieder verloren gehen.

Wieweit allerdings dieser Ersatz durch Eintreten benachbarter Partien erfolgen kann, läßt sich heute noch viel weniger entscheiden als früher, da man den „Zentren“ an sich viel schärfere Grenzen zuzuerkennen geneigt war. Dagegen sprechen tatsächliche Erfahrungen sehr zugunsten eines vikariierenden Eintretens der rechten Hemisphäre für die geschädigte linke; man hat, ausgehend von der unbestrittenen Erfahrung, daß bei Linkshändern die rechte Hemisphäre die sonst der linken vorbehaltene Rolle spielt, schon lange in Fällen, in denen linksseitige Herde nicht zu den erwarteten aphasischen Erscheinungen geführt hatten, die Annahme gemacht, daß es sich um „verkappte Linkshänder“ ge-

handelt habe: diese zunächst ad hoc gemachte Annahme hat jedenfalls in den Feststellungen *Stiers* über das Verhältnis der effektiven Linkshändigkeit zur linkshändigen („rechtshirnigen") Anlage eine wertvolle Stütze gefunden. Auch die Annahme, daß nach einem durch einen linksseitigen Herd gesetzten Funktionsausfall die entsprechenden Partien der rechten Hemisphäre nachträglich eintreten können, findet eine wertvolle positive Stütze in der Erfahrung, daß in solchen Fällen die noch verbliebene respektive wieder erworbene Funktion durch einen rechtsseitigen zweiten Herd neuerdings und dann definitiv zugrunde gehen kann, wie sich das namentlich bei doppelseitigen Schläfelappenläsionen beobachten läßt.

Verständlich werden derartige Beobachtungen, wenn man sich nur vergegenwärtigt, daß alle die Leistungen, deren Störung zur Aphasie führt, einen funktionellen, im Laufe des Lebens erfolgenden Erwerb darstellen: unter diesem Gesichtspunkte und unter Berücksichtigung der jeweils für das Zustandekommen der Funktion nötigen Anzahl von Neuanordnungen würde sich wohl auch die Möglichkeit der Erklärung für die oben erwähnte Erfahrung ergeben, daß im allgemeinen die motorischen sprachlichen Leistungen in höherem Maße als die sensorischen auf die Intaktheit gerade der linken Hemisphäre angewiesen zu sein scheinen.

Unter dem Gesichtspunkte des funktionellen Erwerbes kann es auch einigermaßen verständlich erscheinen, wieso elementare Leistungen (namentlich z. B. auf musikalischem Gebiete) auch bei Läsionen der linken Hemisphäre eben durch Vermittlung der rechten noch vollbracht werden können, während die Erklärung dieser Beobachtung in dem Sinne, daß diese Leistungen im Gegensatz zu den links lokalisierten schlechthin „rechts lokalisiert" seien, unser Erklärungsbedürfnis allerdings nicht mehr voll zu befriedigen vermag. Daß die Anerkennung eines vikariierenden Eintretens der rechten Hemisphäre und der Verzicht auf die Abgrenzung engumschriebener Zentren in die ganze Lokalisationsfrage ein Element der Unsicherheit bringt, mag ausdrücklich zugegeben werden. Diese Schwierigkeit dürfte aber mit keiner Formulierung zu beseitigen sein, so lange es uns wenigstens — und nach dieser Richtung sind die Aussichten vorläufig sehr gering — nicht gelingt, post mortem zu entscheiden, welche der anatomisch erhaltenen Elemente funktionsfähig geblieben oder gerade unter dem Gesichtspunkte des vikariierenden Eintretens zum Maximum möglicher Funktion herangezogen waren.

2. Echte Apraxie und Störung der Sprechfähigkeit.

Zum Ausgangspunkt der weiteren Betrachtung kann zweckmäßig die Apraxie der linken Hand bei linksseitigen Läsionen gewählt werden: die Tatsache nämlich, daß hier trotz Intaktheit der Motilität im engeren Sinne (der Kraft, der vorgebildeten Synergien, der Koordination) die individuell zu erwerbenden und erworbenen Zusammenordnungen, wie sie das „Handeln" erfordert, verloren gegangen sind, die Beobachtung, daß eine derartige Störung durch linksseitige Läsionen oder durch Unterbrechung des Balkens

(der Verbindung zwischen rechter und linker Hemisphäre) zustande kommt, während kein Zweifel daran besteht, daß die eigentliche Motilität der linken Extremität von der rechten Hemisphäre aus versorgt wird, läßt die folgenden bedeutsamen Schlüsse zu: zunächst, daß für die beiden Formen der Bewegungsregelung verschiedene und in diesem Falle auch örtlich grob getrennte, cerebrale Apparate in Wirkung treten, zum zweiten, daß wenigstens unter besonders günstigen Umständen, wie hier bei der reinen Unterbrechung des Balkens, die sonst wohl anzuzweifelnde Scheidung zwischen Läsionen von Zentren und von Bahnen tatsächlich durchgeführt werden kann.

Diese Schlüsse sind zu ziehen, ohne daß damit über eine weitere wichtige Frage etwas ausgesagt wäre, ob nämlich den Funktionen der beiden Apparate irgendwelche psychische Prozesse entsprechen, ob insbesondere die Vorgänge in der linken Hemisphäre im vorliegenden Falle irgend etwas mit den viel erörterten „Bewegungsvorstellungen" zu tun haben. Sie sind weiterhin unabhängig von einer gleichfalls prinzipiell wichtigen Frage, ob nämlich die Apparate für die „Motilität" im engeren Sinne und für die „Praxie" links in gleichen oder in verschiedenen Windungspartien lokalisiert sind, eine Frage, die mit der so lange immer wieder diskutierten in engster Beziehung steht, ob die ganze Gehirnrinde als Projektionsfläche anzusehen und eine Differenzierung der Leistungen nur schichtenweise erfolgt ist, eine Auffassung, die am nachdrücklichsten von *Wernicke* vertreten wurde, oder ob bestimmte übergeordnete (gleichviel wie zu bezeichnende) Funktionen in bestimmten Territorien vereinigt sind, wie dies am energischesten von *Flechsig* für seine Assoziationszentren postuliert wird.

Die Verhältnisse bei der Apraxie erlauben zurzeit leider noch keine eindeutige Antwort auf die Frage zu geben. Der erste Fall *Liepmanns*, in dem trotz einer anatomischen Läsion, welche das Gebiet des Sensomotoriums vom übrigen Gehirn geradezu isoliert hatte, doch gewisse „praktische" Leistungen (die „Eigenleistungen") erhalten geblieben waren, würde im Sinne der ersteren Annahme sprechen; doch wurde oben schon erwähnt, daß andere Beobachtungen mit einer derartigen Annahme im Widerspruch stehen würden. Namentlich die Analogien mit der motorischen Aphasie würden die Annahme sehr akzeptabel erscheinen lassen, daß die für die Praxie bedeutsamen Apparate im Frontalhirn entsprechend der *Hartmann*schen Auffassung zu suchen wären. Daß trotzdem (s. o.) gerade bei occipitalwärts gelegenen Herden so häufig apraktische Erscheinungen beobachtet werden, ließe sich wohl auch dann noch aus einer Unterbrechung zuleitender Bahnen erklären; zunächst wäre jedenfalls durch eingehendere klinische Untersuchungen noch festzustellen, ob sich zwischen den apraktischen Erscheinungen bei frontalen und parietooccipitalen Läsionen etwa Differenzen finden, welche dann sehr im Sinne der obigen Annahme sprechen würden. Die ganze Frage wird übrigens durch die bereits mehrfach betonte Erfahrung kompliziert, daß für die Praxieleistungen der Ex-

tremitäten nicht ausschließlich die linke Hemisphäre in Anspruch genommen wird.

In viel höherem Maße muß das für die sprachlich-expressiven Leistungen der Fall sein; die Aufhebung der Sprechfähigkeit läßt sich als eine Apraxie der Mund-, Zungen-, Kehlkopfmuskulatur für die höchstdifferenzierte Leistung: den Sprechakt auffassen: die zugehörigen Anordnungen scheinen ganz exquisit linkseitig ausgebildet zu sein, während die analogen Apparate für die Kau-, Trink- etc. Bewegungen (ebenso wie die grobe Innervation der entsprechenden Muskelgruppen!) in weitem Maße doppelseitig angelegt scheinen. Wieder mag hier die Frage, ob die entsprechenden Anordnungen die Grundlage der „Sprachbewegungsvorstellungen" bilden, entsprechend den einleitenden Bemerkungen weiterhin unerörtert bleiben.

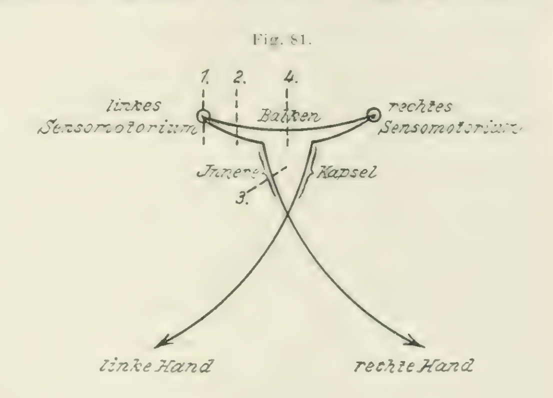
Auch auf diesem Gebiete hat die Frage, ob das „motorische Sprachzentrum" (die Bezeichnung darf wohl ohne Gefahr des Mißverständnisses beibehalten werden) mit den corticalen Vertretungen der Muskelbewegungen zusammenfällt, zu vielfachen Erörterungen Anlaß gegeben: die Ergebnisse der Rindenreizung *(Krause)* und die allerdings nicht unbestritten gebliebenen Resultate cytoarchitektonischer und myeloarchitektonischer Untersuchungen sprechen dafür, daß tatsächlich frontalwärts, also einigermaßen zusammenfallend mit der *Broca*schen Stelle im engeren Sinne ein Organ für die Praxie der Sprache gesucht werden darf, das örtlich getrennt wäre von den im untersten Abschnitt der Zentralwindungen gelegenen motorischen Projektionsfeldern. Zu eingehenderen Erörterungen über die Folgen circumscripter Läsionen innerhalb des erweiterten motorischen Sprachzentrums fehlt es an ausreichenden tatsächlichen Unterlagen; auf alle Fälle würde man sich bei entsprechenden Untersuchungen von der schematischen Vorstellung zweier nebeneinander gelegener und durch eine lineare Bahn verbundener Zentren freizumachen und namentlich auf die zahlreichen Schaltungen Rücksicht zu nehmen haben, auf deren Bedeutung ganz besonders *v. Monakow* immer wieder hingewiesen hat. Gleichfalls in Übereinstimmung mit diesem Autor, der allerdings auf anderem Wege zu ähnlichen Schlußfolgerungen gekommen ist, mag immerhin wenigstens auf die Wahrscheinlichkeit hingewiesen werden, daß Läsionen der engeren *Broca*schen Stelle echt motorisch-aphasische, Läsion des Opercularteils der vorderen Zentralwindung mehr dysarthrische Störungen zur Folge hätte, während die enge Nachbarschaft dieser beiden Gebiete die früher erwähnten klinischen Übergangsformen verständlich machen würde.

Unter dem Gesichtspunkte der Apraxie wird auch ein Befund erklärbar, der früher unverständlich war und zur Annahme einer besonderen „motorischen Sprachbahn" geführt hatte, daß nämlich kapsuläre Herde auch linksseitig keine motorische Aphasie bedingen; die Erscheinung wird geradezu selbstverständlich, wenn man das nachfolgende Apraxieschema *Liepmanns* auf die motorische Aphasie überträgt (s. Fig. 81 und 82). Es ergibt sich dann ohne weiteres, daß bei einer kapsulären Läsion von

der *Broca*schen Stelle aus via Balken noch diejenige Regulierung der Bewegungen über die rechte Hemisphäre möglich ist, die wir als Voraussetzungen für die spezifischen Sprechbewegungen postulieren.

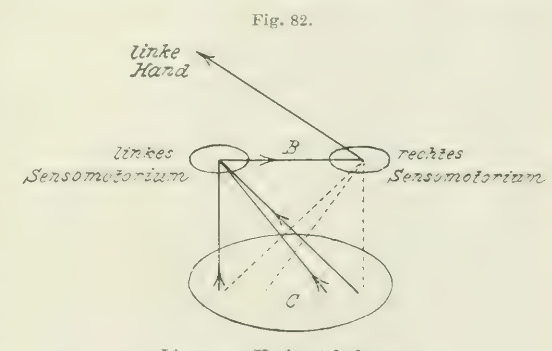
Ausdrücklich mag noch betont werden, daß Läsionen innerhalb der soeben besprochenen anatomischen Komplexe nur Störungen im richtigen Ablauf, nicht solche in der Wahl der Bewegungen zu erklären vermögen. Bewegungsverwechslungen also höchstens insofern, als ausnahmsweise einmal eine Bewegungsentstellung eine verkehrte Bewegungsintention vortäuschen kann, ebenso wie ein — „normales“ oder aphasisches — „Versprechen“ auf gleichem Wege ausnahmsweise einmal eine scheinbare Wortverwechslung (Schiff statt Fisch und ähnliches) zustande kommen lassen kann. Andrerseits ist es wahrscheinlich, daß nicht nur, wie oben schon erwähnt, andere Bewegungsentstellungen, sondern auch echte Wortentstellungen außer durch Läsionen innerhalb der entsprechenden anatomischen Komplexe auch durch Läsionen in jenen anatomischen Anordnungen ausgelöst werden können, welche die Erregung zum motorischen Sprachzentrum zu leiten haben. In diesem Sinne sprechen wenigstens die Fälle, in denen ausweislich der Ergebnisse beim Reihensprechen die Sprechfähigkeit als solche intakt ist, gleichwohl aber beim Nachsprechen auch solcher Worte, die nachweislich gut aufgefaßt sind, Störungen auftreten, die vorläufig wenigstens von denen bei motorisch Aphasischen nicht zu scheiden sind.

Fig. 81.



Vertikalschema zur Erläuterung der Apraxie nach *Liepmann*. *1.* Corticale Läsion; *2.* suprakapsulare Läsion; *3.* kapsulare Läsion; *4.* Balkenläsion.

Fig. 82.



Liepmanns Horizontalschema. *B* Balken, *C* vertritt den Gesamtcortex.

3. Agnosie und Störung des Sprachverständnisses.

Die Betrachtung der agnostischen und verwandten Störungen geht zweckmäßig von den Verhältnissen bei der relativ einfachsten dieser

Formen, der Tastlähmung (taktilen Agnosie), aus. Man wird am ehesten zum Verständnis dieser Verhältnisse gelangen, wenn man generell auf sensorischem Gebiete analoge Anordnungen — allerdings in umgekehrter Leitungsrichtung wirksam — annimmt, wie auf motorischem. Die Darstellung sieht sich allerdings einer besonderen Schwierigkeit gegenüber: statt der objektiv sichtbaren und zu beschreibenden Leistungen auf expressivem Gebiete hat sie es auf rezeptivem Gebiete mit subjektiven Vorgängen zu tun, die wir nur zu erschließen und psychologisch zu umschreiben imstande sind. Für das Tasten würden dann den spezifischen motorischen Rindenzentren (für die einfachen Synergien s. o.) auf rezeptivem Gebiete Anordnungen entsprechen, von deren Intaktheit die elementaren taktilen Wahrnehmungen (des Berührtwerdens, der Wärme, Kälte etc.) abhängig wären; den Zentren für die Praxie wären auf rezeptivem Gebiete andere zu analogisieren, an welche wahrscheinlich schon die örtliche Einordnung dieser elementaren Wahrnehmungen, sicher aber die Stereognosie (das Erkennen von Formen) und noch mehr jene zusammengesetzten Funktionen (z. B. das Erkennen der Elastizität, der Knetbarkeit, der Härte etc. eines Gegenstandes) gebunden sind, welche die Voraussetzungen des tastenden Erkennens sind (noch nicht das tastende Erkennen selbst bedeuten, siehe unten!). Ob die beiden Elemente schichtenweise übereinander in gleichen (wie es der ursprünglichen *Wernicke*schen Annahme entsprach) oder nebeneinander in differenten Rindengebieten zu suchen sind, ist natürlich so lange nicht zu entscheiden, als selbst über die grobe Lokalisation der Tastlähmung noch die oben erwähnte Unsicherheit besteht.

Analoge Verhältnisse — gesonderte Apparate für die elementarste Sinneswahrnehmung einerseits, für die Zusammenordnung zu immer noch elementaren „einsinnigen“ Komplexen andrerseits — werden auch für die anderen Sinnesgebiete anzunehmen sein. Für ihre Lokalisation scheint sich nur auf dem optischen Gebiete einiger Anhalt zu ergeben; manches spricht dafür, daß die elementare Licht- und Farbenwahrnehmung wesentlich an die Intaktheit der medialen Partien (Umgebung der Fissura Calcarina) gebunden ist, während zur Erkennung von Formen auch noch Partien der Konvexität nötig wären, dieselben, die auch zu den für die Formenwahrnehmung so wichtigen Augenmuskelbewegungen in Beziehung gebracht werden. Nähere Details lassen sich schon angesichts der noch vielfach strittigen normal-anatomischen Verhältnisse dieser Gebiete nicht feststellen — nicht einmal die mit Rücksicht auf die Erklärung der Alexie (s. unten) so wichtige Frage ist zur Beantwortung reif, wieviel von den nachgewiesenen Störungen auf corticale Läsionen, wieviel auf Unterbrechung intercorticaler Verbindungen eventuell selbst subcorticaler Bahnen zurückzuführen ist.

Wenn im vorstehenden wenigstens die Möglichkeit ins Auge gefaßt ist, daß agnostische Störungen durch Läsionen in Gebieten zustande kommen, deren Intaktheit für die grobe Sinneswahrnehmung nicht erfordert würde, so sei doch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Funktion dieser Gebiete erheblich elementarer aufgefaßt erscheint, als das für

die Assoziationszentren *Flechsigs* anzunehmen wäre — entsprechend der unverkennbaren Tendenz der Lokalisationsbestrebungen überhaupt, statt von den hochkomplizierten Vermögen, die man zunächst mit bestimmten Partien in Beziehung zu bringen versuchte, von immer elementareren Leistungen auszugehen. Daß die hier als möglich diskutierte Auffassung mit derjenigen *Wilbrands*, der bekanntlich örtlich getrennte Wahrnehmungs- und Erinnerungszentren annimmt, nur gewisse äußerliche Beziehungen hat, bedarf nur kurzer Erwähnung.

Die Worttaubheit läßt sich ebenso als Spezialfall der akustischen Agnosie auffassen, wie die Aufhebung der Sprechfähigkeit als Spezialfall der Apraxie. Wieder wäre als wichtige Besonderheit zu erwähnen, daß die entsprechenden Anordnungen im wesentlichen (wenn auch nicht so ausschließlich wie auf expressivem Gebiete) links angelegt sind, so daß also schon ein einseitiger linkseitiger Herd die Erscheinungen der Sprachtaubheit hervorrufen kann, während es andrerseits verständlich erscheint, wieso (nämlich durch Mitunterbrechung von Balkenfasern, welche die beiden Schläfelappen verbinden) eventuell auch ein subcorticaler (aber „supracapsulärer") Herd, der das sensorische Sprachzentrum selbst ungeschädigt gelassen hat, das Sprachverständnis aufheben kann, indem er nämlich das sensorische Sprachzentrum von allen übrigen Partien isoliert. Die Verhältnisse sind, wieder mit umgekehrter Leitungsrichtung, dieselben, die oben bei der Besprechung der Bedeutung capsulärer und supracapsulärer Schädigung der motorischen Apparate besprochen wurden.

Auch die Frage, ob das spezifische „sensorische Sprachzentrum" mit dem Projektionsfelde des Acusticus ohne weiteres zusammenfällt, ob es eventuell innerhalb desselben nur ein bestimmtes Areal einnimmt, ein Schluß, zu dem die Beziehungen des Sprachverständnisses zum Erhaltensein der Perzeption für gewisse Töne *(Bezold)* leiten könnte, oder ob das eigentliche sensorische Sprachzentrum überhaupt außerhalb des akustischen Projektionsfeldes zu suchen ist, ist noch nicht entschieden. Die Untersuchungen *Flechsigs* und seiner Schüler über die Bedeutung der temporalen Querwindung als eigentliches Projektionsfeld des Acusticus würden im Sinne der letzteren Annahme sprechen. Dann würde sich eine einheitliche Auffassung der expressiven und rezeptiven aphasischen Störungen unter der Annahme ergeben, daß — natürlich wieder unter Berücksichtigung der entgegengesetzten Leitungsrichtung — unterste Partien der Zentralwindung und temporale Querwindung die motorischen respektive sensorischen Projektionsfelder, die engere *Broca*sche respektive *Wernicke*sche Stelle „übergeordnete" Zentren im vorher umschriebenen Sinne darstellen würden; dem darf noch hinzugefügt werden, daß zunächst wenigstens keine Anhaltspunkte dafür vorliegen, daß der linke Schläfelappen außerhalb der für die allgemeine akustische Gnosie in Betracht kommenden Gebiete noch ein besonderes sensorisches Sprachzentrum ausgebildet habe; man wird vielmehr annehmen dürfen, daß beide zusammenfallen und es erscheint nicht unwahrscheinlich, daß die Bevorzugung des linken Schläfe-

lappens bezüglich der sprachlichen Funktionen nicht so sehr auf einer spezifischen funktionellen Ausbildung innerhalb dieses Gebietes selbst beruht, als vielmehr auf der Herstellung besonders guter funktioneller Verbindungen mit anderen für die Sprachfunktion wichtigen Gebieten (die sich dann im Falle der Restitution einer eingetretenen Störung wohl auch nach anderen Richtungen ausbilden können); der rein hypothetische Charakter dieser Erwägungen, gegen die begreiflicherweise mancherlei einzuwenden wäre, sei aber gerade im Gegensatze zu der möglichst objektiven Tatsachendarstellung des ersten Teiles ausdrücklich hervorgehoben und anerkannt.

Werden die oben besprochenen Apparate außer Funktion gesetzt, so muß damit jegliche Form des Erkennens — gleichviel ob auf sprachlichem oder nicht sprachlichem Gebiete — für den betroffenen Sinn wegfallen; die engen örtlichen Beziehungen zu den die Projektion der Sinneseindrücke vermittelnden Apparaten machen auch unter anatomischen Gesichtspunkten die früher erwähnte klinische Erfahrung verständlich, daß fließende Übergänge zu den Störungen der Sinnesempfindungen (s. oben Seelen- und Rindenblindheit) bestehen — also auch hier wieder ein Analogon zu den auf expressivem Gebiete betonten Beziehungen zwischen Anarthrie und motorisch-aphasischer Störung.

Die Intaktheit dieser Apparate gewährleistet ihrerseits die Erkennung der Eindrücke nur bis zu einem gewissen Grade; das Verständnis dafür läßt sich vielleicht am ehesten aus den Verhältnissen bei den niederen Sinnen ableiten; speziell bei der Prüfung des Geruchssinnes kommt es nicht allzu selten vor, daß ein Eindruck als bekannt „identifiziert" eventuell auch bei wiederholter Darbietung als „schon dagewesen" wiedererkannt wird, ohne daß er gleichwohl in seiner speziellen Art erkannt und rubriziert werden kann. Auf sprachlichem Gebiete wäre dem der auch im Bereiche des Normalen vorkommende Zustand analog, daß ein Wort — der eigenen oder einer fremden Sprache (in der eigenen vor allem Eigennamen!) — zwar als bekannt und schon gehört anklingt, ohne daß aber ein Sinn damit verbunden werden kann. Es bedarf wohl nur kurzer Andeutung, daß auch diese unvollständige Erkennung sich von Fall zu Fall verschieden gestalten kann. Noch variabler, jedenfalls häufiger sind derartige Störungen unter pathologischen Verhältnissen zu beobachten (die Details sind speziell für das Sprachverständnis von *Pick* u. a. erörtert).

Der Umstand nun, daß grobe Schädigungen zu einer derartigen Beeinträchtigung der inhaltlichen Verwertung des Wahrgenommenen führen können und recht häufig führen, während die elementare Erkennung als intakt erweisbar ist, legt den Schluß nahe, daß die erstere Leistung die Intaktheit örtlich von den bisher besprochenen getrennter Apparate zur Voraussetzung hat; sie entsprächen dem transcorticalen Gebiete *Wernickes*, das er für die „sekundäre Identifikation" in Anspruch nahm, im Gegensatz zur primären, die er in den Sinnesflächen selbst zustande kommen ließ. Psychologische Erwägungen ebenso wie die Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse des Großhirns machen es tatsächlich sehr plausibel, daß für die sekundäre Identifikation — auf sprachlichem wie

nichtsprachlichem Gebiete — im wesentlichen Verbindungen der Projektionsflächen (eventuell im Zusammenhang mit den für die „Gnosie" in Betracht kommenden Apparaten) mit anderen sowohl homo- als auch kontralateralen Gehirnpartien in Betracht kommen, wie es der ursprünglichen Darstellung *Wernickes* entsprach. Abgesehen davon, daß diese schematische Darstellung begreiflicherweise die Komplikation der tatsächlichen Verhältnisse kaum ahnen läßt und darum vor allem (siehe oben) keine unmittelbare Übertragung auf die Verhältnisse im Gehirn selbst zuläßt, bedarf sie aber noch einer Ergänzung in anderer Richtung: sie ließe annehmen, daß primäre und sekundäre Identifikation sich als zeitlich getrennte, aufeinander folgende Akte vollziehen; vor allem die Vorgänge beim Zustandekommen und die Störungen des Sprachverständnisses machen es aber sehr wahrscheinlich, daß es sich hier um reziproke Beeinflussungen handelt. Komplizieren sich damit schon die zunächst sehr einfach erscheinenden Voraussetzungen, von denen die ursprüngliche psychologische Betrachtung ausging, so muß andrerseits auch die Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse zu dem Schlusse führen, daß eine ausschließliche und reine Störung der „sekundären Identifikation" jedenfalls durch grobe Herde kaum jemals zustande gebracht werden kann. Geht man nämlich von der für die ganze hier erörterte Auffassung grundlegenden Annahme aus, daß als anatomisches Substrat für die sekundäre Identifikation respektive als der Ort, durch dessen Läsion sie geschädigt werden, die Bahnen in Betracht kommen, welche die jeweils betroffenen sensorischen Gebiete mit anderen in der gleichen oder kontralateralen Hemisphäre verbinden, dann ergibt ein Blick auf einen beliebigen Gehirndurchschnitt oder eine entsprechende Zeichnung, daß eine Läsion, die solche Verbindungen in erheblichem Umfange durchtrennen würde, nur in unmittelbarster Nähe des Zentrums selbst, nach dem sie alle konvergierend einstrahlen, denkbar ist; in diesem Falle wird es aber fast notwendig auch zur Läsion corticaler Gebiete und vor allem auch bedeutsamer Projektionsfaserungen kommen müssen; jeder Herd aber, der weit genug von den eigentlichen Zentren entfernt ist, um diese selbst zu verschonen, wird auch die hier für die sekundäre Identifikation in Anspruch genommenen „transcorticalen" Bahnen nur partiell schädigen können. Diese Erwägung erklärt zunächst, warum gerade die hier einschlägigen Formen nicht nur von Fall zu Fall, sondern auch im gleichen Fall von Untersuchung zu Untersuchung in ihren Befunden so außerordentlich stark schwanken, sie macht es aber auch verständlich, daß es uns an einer wirklichen Einsicht in die speziellen Beziehungen zwischen klinischen und anatomischen Befunden bezüglich dieser Erscheinungen noch so gut wie völlig fehlt, und daß zurzeit noch kaum zu übersehen ist, wie wir zu einer derartigen Einsicht gelangen sollen, die uns allerdings, wenn wir einmal dazu gelangt wären, mit den früher besprochenen prinzipiellen Einschränkungen natürlich, auf dem Wege der Erkenntnis des Zustandekommens der im engeren Sinne psychischen Geschehnisse einen erheblichen Schritt vorwärts bringen würde.

4. Störungen der Bewegungs- und Wortwahl.

Die Erörterungen sub 2 bezogen sich nur auf die Frage, welche Läsionen zu Störungen im Gefüge einer Bewegung Anlaß geben können; sie haben zunächst mit Absicht die Frage beiseite gelassen, welche Schädigungen schon den Eintritt der Bewegung beeinträchtigen können, welche vor allem zum Auftreten einer „falschen" Bewegung an Stelle der erwarteten „richtigen" zur Bewegungs- respektive Wortverwechslung führen werden; dabei muß natürlich von der Besprechung der zurzeit jeder hirnpathologischen Behandlung unzugänglichen Frage abgesehen werden, wie etwa der Entschluß zum Handeln oder Sprechen, der diesen wie jeder anderen Willkürhandlung vorherzugehen hat, zustande kommen oder gestört werden kann.

Ohne weiteres verständlich erscheinen die Fehlreaktionen, die sich sekundär infolge einer agnostischen Störung einstellen, ebenso wie sie sich gelegentlich etwa einmal auch unter physiologischen Verhältnissen infolge verkehrter Auffassung eines Objektes ergeben können. Für diese werden ohne weiteres eben diejenigen Läsionen verantwortlich zu machen sein, die oben als Ursachen agnostischer Störung angeführt wurden. Die Komplikation der Verhältnisse bei den Objektagnosien, das Überwiegen der oben als agnostisch-apraktische Mischformen bezeichneten Zustände macht allerdings die Beurteilung praktisch viel schwieriger, als es auf Grund der so einfach klingenden Voraussetzungen erscheint. Nicht einmal die grundlegende Frage, ob auch noch Läsionen innerhalb derjenigen Gebiete, die für die Entstehung der apraktischen Bewegungsentstellung in Betracht kommen, zu Bewegungsverwechslungen Anlaß geben können, wird mit absoluter Sicherheit zu entscheiden sein, so lange diese Gebiete selbst nicht scharf abgegrenzt sind; immerhin kann aus den bisher vorliegenden Beobachtungen wohl so viel abgeleitet werden, daß die Bewegungsverwechslung gegenüber der Bewegungsentstellung um so mehr zurücktritt, je näher die Läsion an die Zentralwindung heranrückt und man würde daraus wohl schließen dürfen, daß — ebenso wie auch auf sprachlichem Gebiete — Läsionen innerhalb des expressiven Gebietes selbst zu Fehlern der Bewegungswahl nicht mehr führen.

Auch auf sprachlichem Gebiete läßt sich nämlich ein einigermaßen übereinstimmendes Verhalten feststellen, wenigstens bei derjenigen Aufgabe, die zunächst die durchsichtigsten Bedingungen für die Untersuchung, dem Benennen von Objekten, liefert; die Deutung der Befunde wird bei diesen Untersuchungen dadurch erleichtert, daß dabei — entweder durch Umschreibung oder Gesten und Gebrauchsbewegungen — die richtige Erkennung des Objektes und damit die Störung tatsächlich als solche der Wortfindung erwiesen werden kann. Man kann dann wieder feststellen, daß die reinsten Fälle von Störung der Wortfindung mit eventueller Wortverwechslung bei Läsionen beobachtet werden, die, hinter der *Wernicke*schen Stelle gelegen, optisch-akustische Verbindungen zu unterbrechen geeignet sind, daß schon Läsionen innerhalb der *Wernicke*schen Stelle zum mindesten neben den Störungen in der Wortwahl auch ausgesprochene

Wortentstellungen zur Folge haben, die dann zunehmen, je mehr die Läsion sich der Insel respektive dem motorischen Sprachzentrum nähert: ob Läsionen der letzteren selbst noch zu Störungen der Wortfindung Anlaß geben können, muß trotz gegenteiliger Annahme mancher Autoren sehr bezweifelt werden. Eine sehr eigenartige, allerdings seltene Form der Störung: Unfähigkeit, die Bezeichnung eines gezeigten Gegenstandes auszusprechen, während diese sowohl niedergeschrieben als auch nachgesprochen werden kann, widerstrebt zunächst jedem Versuche der Lokalisation.

Gleichviel, welche sonstigen Läsionen außerdem zu Störungen der Wortwahl Anlaß geben, bleibt noch die vielfach diskutierte Frage von Interesse, ob das sensorische Sprachzentrum ein unentbehrliches Zwischenglied für die korrekte Wortwahl ist, ob, wie es meist ausgedrückt wird, generell „über den Schläfelappen" gesprochen wird, eine Annahme, die namentlich von *Wernicke* vertreten und zur Erklärung seiner sensorischen Aphasie herangezogen wurde. Die in diesem Sinne sprechenden psychologischen Erwägungen über das Erlernen der Muttersprache und fremder Sprachen scheinen eine Bestätigung zu finden in der Reichhaltigkeit der Verbindungen zwischen Schläfelappen und *Broca*scher Stelle und in der Häufigkeit von Wortfindungsstörungen selbst in leichteren (initialen respektive weit restituierten) Fällen von Schläfelappenläsion. Dagegen spricht aber eine allerdings kleine Minorität von Fällen, in denen gerade schwere und ausgedehnte doppelseitige Schläfelappenläsionen zu einem der reinen Sprachtaubheit nahe verwandten Bilde, also Aufhebung des Sprachverständnisses, ohne Beeinträchtigung der Wortwahl Anlaß gegeben haben; eine Erklärung dieser viel umstrittenen Fälle ist zurzeit noch nicht möglich; sie wird sich vielleicht doch noch ergeben, wenn sich tatsächlich die Trennung zwischen Projektionsfeld des Acusticus und *Wernicke*scher Stelle als berechtigt und durchführbar erweisen läßt.

Auch eine andere mit der obigen nahe zusammenhängende und ebenso viel diskutierte Frage ist zurzeit von der Lösung noch weit entfernt: welche Gebiete für das Nachsprechen in Betracht kommen. Es ist klar, daß jede Schädigung auf rezeptivem wie expressivem Gebiete nach dem Maße eben dieser Schädigung auch das Nachsprechen beeinträchtigen muß und in dieser Beziehung entsprechen tatsächlich auch die Beobachtungen den theoretischen Voraussetzungen. Zu erwarten wäre aber weiter, daß unter der Voraussetzung, daß stets über den Schläfelappen gesprochen würde, die Störungen beim Spontan- und beim Nachsprechen stets gleich stark wären, und daß jede Unterbrechung der — vor allem in der Inselgegend verlaufenden — rezeptiv-expressiven Verbindungen zu intensiver Störung des Nachsprechens Anlaß gäbe. Es mußte nun schon oben erwähnt werden, daß einmal die klinischen Erfahrungen (cf. die transcorticalen Aphasien) den Voraussetzungen nicht entsprechen, und daß andrerseits die Störungen des Nachsprechens auch bei Inselläsionen vermißt werden können. Die Bevorzugung des Nachsprechens ließe sich eventuell unter dem früher erwähnten Gesichtspunkte erklären, daß es sich dabei eben

um eine besondere eindeutig bestimmte und darum begünstigte Funktion handle; der Versuch aber, diesen Gesichtspunkt ausschließlich für die Erklärung der Verhältnisse beim Nachsprechen geltend zu machen, scheitert an jenen Fällen, in denen diese sonst besonders begünstigte Funktion gerade am schwersten beeinträchtigt ist. Man käme also immer wieder zu der Annahme, daß außer dem Wege über den Schläfelappen noch ein anderer für die Spontansprache (und eventuell auch für das Nachsprechen mit Sinnverständnis gangbarer) existiere, und daß diese beiden trotz der Bedenken, die einer derartigen Annahme ganz besonders unter anatomischen Gesichtspunkten entgegenstehen, eventuell doch einmal in ungleichem Maße durch grobe Läsionen beeinträchtigt sein könnten. Man wird sich bei derartigen Erwägungen auch zweckmäßig einer Erfahrung aus der Sprachentwicklung des Kindes erinnern, welche die gangbare Ansicht von dem Erlernen der Sprache auf dem Wege der Nachahmung und damit von der überragenden Bedeutung der Nachahmung respektive der sensorisch-motorischen Verbindungen überhaupt doch einigermaßen zu modifizieren geeignet ist, daß nämlich dem Stadium der Lautnachahmung ein anderes vorhergeht, in dem auf dem Wege der „Lallmonologe“ und dergleichen die Sprechfähigkeit bis zu einem gewissen Grade erworben wird, und daß die ersten dann auftretenden Nachahmungen Leistungen betreffen, die auf diese Weise im wesentlichen bereits „motorisch erlernt“ sind.

Für eine Reihe derjenigen Faktoren, welche bei Störungen der Wortfindung das Bild gestalten, fehlt es zurzeit noch an jeder Handhabe auch nur für den Versuch einer Lokalisation. Es läßt sich auf Grund der anatomischen Befunde zunächst nicht einmal eine Vermutung darüber aussprechen, warum es in manchen Fällen vorwiegend zum Ausbleiben der Reaktion kommt, ganz abgesehen davon, daß in dieser Beziehung die Art des Examens (s. o.) von wesentlichem Einfluß zu sein pflegt: hier darf in diesem Zusammenhang vielleicht an die Auffassung *Picks* erinnert werden, der im sensorischen Sprachzentrum zugleich ein Hemmungszentrum des Sprachmechanismus erblickt, so daß also die gerade bei Läsionen im sensorischen Gebiete besonders häufigen Fehler (im Gegensatze zu den ausbleibenden Reaktionen) damit verständlich würden. Jeder Betrachtung unter anatomischen Gesichtspunkten widerstrebt zurzeit auch die — übrigens auch klinisch noch sehr wenig durchgearbeitete — Frage nach der Gestaltung der Fehler im Einzelfalle, und das gleiche gilt für die sehr komplizierten Störungen, die sich in der eigentlichen Konversationssprache konstatieren lassen. Nur für eine der hierhergehörigen Erscheinungen läßt sich vielleicht schon jetzt der Versuch einer Beziehung auf eine bestimmte Läsion rechtfertigen: für den Agrammatismus: während man Andeutung einschlägiger Störungen bei zahlreichen Läsionen der verschiedensten Partien finden kann und tatsächlich auch verschiedene dafür in Anspruch genommen werden, scheint sich doch mehr und mehr zu ergeben, daß sie am häufigsten und ausgesprochensten bei Läsionen in der motorischen Zone auftreten. Wie allerdings dieser Zu-

sammenhang zu denken ist, entzieht sich zurzeit noch einer exakten Darstellung (möglicherweise ergibt sich die Erklärung zum Teil unter dem Gesichtspunkte der Reihenleistung?); die Annahme eines „propositioning centre" im Sinne *Broadbents* kann jedenfalls nicht befriedigen; sie würde zum mindesten die Aufgabe nicht überflüssig machen, im Rahmen des überhaupt Erreichbaren, die Funktion dieses Zentrums näher zu untersuchen.

5. Störungen des Lesens und Schreibens.

Berücksichtigt man die oben erörterten, außerordentlich komplizierten klinischen Verhältnisse der Lese- und Schreibstörungen, so muß der Versuch, einen Ort zu finden, dessen Läsion die Alexie oder die Agraphie hervorruft, von vornherein aussichtslos erscheinen; zunächst stellt wohl eines der Haupthindernisse für ein tieferes Eindringen in die Grundlagen der Lese- und Schreibstörungen die vorhin genügend betonte Schwierigkeit dar, zu entscheiden, wie weit die schlechten Resultate durch Störungen des oben als Buchstabenwort bezeichneten Komplexes bedingt sind.

Einschlägig ist hier eine viel diskutierte Frage: ob nämlich stets buchstabierend gelesen wird. Untersuchungen an Normalen ebenso wie pathologische Beobachtungen beweisen mit Sicherheit, daß dies nicht der Fall ist, daß also für das Erkennen von Worten — NB.! auch beim Aphasischen — auch der „Gesamteindruck" des Wortbildes ausschlaggebend sein kann; es ergibt sich daraus unmittelbar, daß damit auch ein Element in ausschlaggebender Weise für die Gestaltung der Resultate sich geltend machen muß, dessen Zurückführung auf anatomische Befunde nach dem Obigen noch nicht einmal versucht werden kann, das Maß der Lesegewandtheit respektive Übung (die seltenen Fälle, in denen Worte, wie die eigene Unterschrift, auch in toto geschrieben werden, seien nur eben erwähnt).

Unter diesem Gesichtspunkte erscheint es auch verständlich, warum die Versuche, die Störungen des Buchstabenwortes zu bestimmten Läsionen in Beziehungen zu setzen, zunächst noch nicht zu einheitlichen Resultaten geführt haben. Daß kein bestimmtes, besonderes Zentrum dafür in Anspruch genommen werden kann, erscheint im Sinne der früheren Ausführungen fast selbstverständlich; es ist aber noch nicht einmal möglich, mit Sicherheit anzugeben, wie weit das Gebiet innerhalb der gesamten Sprachregion gefaßt werden darf, dessen Läsion noch zu einschlägigen Störungen Anlaß gibt; jedenfalls scheinen sie am ausgesprochensten und häufigsten bei Läsionen der *Wernicke*schen Stelle und ihrer Umgebung aufzutreten; sie fehlen häufig bei Läsionen der occipitalen Ausläufer der Sprachregion (cf. reine Alexie!) und sie fehlen auffallenderweise in manchen, wenn auch selteneren Fällen von Läsionen der *Broca*schen Stelle, während in anderen selbst geringe Schädigungen derselben zu schweren Störungen im Buchstabengefüge des Wortes Anlaß geben; es ist möglich, daß hier, abgesehen von der Schreibgewandtheit, auch noch Differenzen der individuellen Anlage eine Rolle spielen; zumeist wird nämlich angenommen, daß die Unfähigkeit des Buchstabierens bei expressiven Störungen

mit der Störung des „inneren Sprechens“ zusammenhänge und es wäre nicht unverständlich, daß dies beim Motoriker mehr ein Innervieren, beim Akustiker mehr ein Erklingenlassen wäre, so daß also der erstere bei einer Läsion im expressiven Anteil nach dieser Richtung mehr geschädigt würde.

Für diejenigen Schreibstörungen, die oben als apraktische bezeichnet wurden, dürften dieselben Gesichtspunkte Geltung haben, wie für die Auffassung der Apraxie überhaupt; für die Erklärung der wechselnden Verhältnisse der apraktisch-agraphischen zu den sonstigen apraktischen Störungen fehlt es zurzeit an tatsächlichen Unterlagen; ebensowenig läßt sich zurzeit die Frage entscheiden, ob — ganz abgesehen von allen anderen Vorbedingungen, namentlich dem Erhaltensein des Buchstabenwortes — die Intaktheit des optischen Bildes eine notwendige Voraussetzung des Schreibens ist. Für einige besondere, schon oben erwähnte Schreibleistungen (Unterschrift und ähnliches) dürfte die Annahme unnötig sein; der Übertragung dieser besonderen Verhältnisse auf das Schreiben im allgemeinen stehen aber zahlreiche Bedenken entgegen; die Frage wäre analog der früher erörterten, ob stets „über das sensorische Sprachzentrum“ gesprochen wird. Ihre Beantwortung stößt namentlich deshalb auf noch größere Schwierigkeiten, weil die anatomischen Grundlagen der Alexie in ihren Details so wenig gesichert sind.

Die schwersten Lesestörungen, in denen schon das Erkennen der Buchstaben unmöglich ist und die als Alexie im engeren Sinne zu bezeichnen wären, sind nach allem Vorgehenden als optisch-agnostische Störungen aufzufassen und tatsächlich ja nicht selten von solchen vergesellschaftet. Es verdient aber doch nachdrücklich hervorgehoben zu werden, daß sie auch bei eingehender Prüfung fehlen können und daß es überdies zuweilen gelingt festzustellen, daß die Formen der Buchstaben nicht nur vollständig wahrgenommen, sondern auch mit schon gesehenen, an bestimmten Stellen oder in bestimmten Worten vorkommenden identifiziert werden etc., so daß also an der Erhaltung der „gnostischen“ Komponente in diesen Fällen nicht gezweifelt werden kann und nur die symbolische Wertung des Buchstabens als Lautzeichen gestört ist. Die Frage, ob diese Beobachtung dazu berechtigt oder nötigt, ein besonderes, entsprechend den makroskopischen Befunden etwa im Sinne *Dejerines* in die Gegend des Gyrus angularis zu lokalisierendes corticales Lesezentrum anzunehmen, ist viel diskutiert. Sie verliert vielleicht einigermaßen an prinzipieller Bedeutung, wenn man im Sinne der hier gegebenen Darstellung überhaupt von dem ursprünglichen starren Begriff eines Zentrums für hochkomplizierte Leistungen und als Depot entsprechender Erinnerungen absieht; unter diesem Gesichtspunkte wäre von einem „Lesezentrum“ dann allerdings in dem Sinne zu sprechen, daß hier wichtige, vor allem optisch-akustische Verbindungen zusammen geschädigt werden können, deren Unterbrechung gerade die „symbolische“ Komponente des Buchstabenerkennens zu stören geeignet ist; diese Auffassung läßt es dann auch verständlich erscheinen, warum hier ebensowenig wie an anderer Stelle die tatsächlichen Befunde den

Voraussetzungen entsprechen wollen, die man theoretisch und schematisch bezüglich der Differenzen zwischen corticalen und subcorticalen Schädigungen abgeleitet hatte, von denen die ersteren das Zentrum selbst vernichten, die letzteren es nur aus seinem Verbande mit den übrigen Gebieten der Sprachregion reißen sollten. Im Sinne der hier vertretenen Auffassung werden dann auch die Differenzen begreiflich, die sich bezüglich des Lesens von Buchstaben einerseits, Ziffern (und manchen Abkürzungen) andrerseits so häufig feststellen lassen; es leuchtet ohne weiteres ein, daß Ziffern und Zahlen, sobald nur einmal ihre Bedeutung überhaupt erlernt ist, den Objekten respektive Objektbildern viel näher stehen als die geschriebenen respektive gedruckten Objektbezeichnungen; ja man wird sogar annehmen dürfen, daß höhere Werte durch das Zahl zeichen am besten repräsentiert werden, daß also das Bild 15634 eher geeignet ist, die Vorstellung einer entsprechenden „Größe" zu wecken, als das gesprochene Zahlwort oder gar das geschriebene: fünfzehntausendsechshundertundvierunddreißig, das im Gegensatz zum Ziffernbilde sicher erst auf dem Umwege über entsprechende Klangbilder sinnvoll zu werden vermag. Will man diese Auffassung nicht akzeptieren, so wäre man genötigt, wie dies tatsächlich auch geschehen ist (*Hinshelwood* u. a.), getrennte Zentren für Zahlen und Buchstaben, dann aber — angesichts der auch hier noch vorkommenden Differenzen — auch für die Buchstaben der verschiedenen Alphabete anzunehmen, eine Annahme, die mit den jetzt gewonnenen Einsichten in das Wesen der Lokalisation kaum mehr verträglich erscheint.

Eine weitere, meist noch zur Alexie gerechnete Störung, die Unfähigkeit zum Benennen richtig erkannter Buchstaben, ist tatsächlich besser unter dem Gesichtspunkte der amnestischen Aphasie zu betrachten. Die Beobachtung, daß die Schwierigkeiten des Benennens sich so häufig Buchstaben gegenüber viel intensiver geltend machen als Objekten gegenüber, dürfte unter dem oben erwähnten Gesichtspunkte der reziproken Beeinflussung dem Verständnis näher zu bringen sein. Für den Versuch, die Störung komplizierterer Funktionen (Lesen von Worten, von Sätzen) oder die früher erwähnten Differenzen zwischen der Fähigkeit, laut zu lesen und das Gelesene zu verstehen, dem Verständnis näher zu bringen, fehlt es noch an ausreichenden tatsächlichen Unterlagen auf klinischem wie anatomischem Gebiete. Ersichtlich kommen hier vielfach im früher umschriebenen Sinne als funktionell zu bezeichnende Momente in Betracht, für deren Zurückführung auf anatomische Grundlagen die Zeit noch nicht gekommen ist.

Schlußübersicht.

Die vorstehende Darstellung mag in mancher Beziehung unbefriedigend wirken; sie hat Lücken unseres Wissens anerkennen und zum Teil ausdrücklich aufweisen müssen auch bezüglich solcher Fragen, deren Beantwortung schon vor recht langer Zeit entweder wirklich gelungen oder doch recht nahe bevorstehend zu sein schien. Übersieht man, was die Aphasieforschung in den 50 Jahren seit dem Auftreten *Brocas* geleistet hat, so

ergibt sich allerdings, daß trotz der neuerlich dagegen erhobenen Bedenken die Resultate *Brocas* und *Wernickes* auch heute noch ihre grundlegende Bedeutung gewahrt haben, daß aber die Unmenge von Arbeit, die seitdem ununterbrochen allerorten und vielfach von den allerersten Kräften auf dem Gebiete geleistet worden ist, nichts hervorgebracht hat, was sich an grundsätzlicher Bedeutung mit den Leistungen *Brocas* und *Wernickes* messen könnte, und daß manche Hoffnungen sich als trügerisch erwiesen.

Dabei sei, wie auch hier noch hervorgehoben zu werden verdient, die ganz prinzipielle Frage nach der Möglichkeit, das Zustandekommen und die Lokalisation psychischer Erscheinungen überhaupt verständlich zu machen, nicht nochmals diskutiert; hier handelt es sich nur mehr um die Konstatierung, daß unsere Erkenntnis vielfach schon scheitert, sobald wir den Versuch machen, ganz abgesehen von allen prinzipiellen Erwägungen, nicht nur die gröbsten Komplexe, sondern auch deren einzelne Komponenten zu bestimmten Regionen in Beziehung zu setzen, und es mag erhofft werden, daß die in der hier gegebenen Darstellung vertretene Auffassung uns auf diesem Wege ein Weiterschreiten möglich machen wird. Abweichend von der streng klassischen Auffassung, die anschließend an *Wernicke* und *Lichtheim* jeden Störungskomplex zunächst aus einer zentralen Störung abzuleiten versuchte, läßt sie eine Richtung mehr zur Geltung kommen, die begreiflicherweise auch früher schon sich geregt und in *Kußmaul* und *Bastian* ihre prominentesten Vertreter gefunden hatte, in deren Sinne übrigens auch gelegentliche Äußerungen von *Wernicke* und *Lichtheim* selbst angeführt werden könnten, und derzufolge man in den geläufigen klinischen Bildern viel häufiger wirkliche Kombinationen von Symptomen als die Folgezustände einer einzigen primären Läsion zu erblicken hätte.

Es genüge hier, unter diesem Gesichtspunkte die beiden klassischen Formen, die *Broca*sche und die *Wernicke*sche Aphasie, zu betrachten. Als notwendige und gesicherte Folge der Läsion der *Broca*schen Stelle kann nur die Aufhebung respektive Beeinträchtigung der Sprechfähigkeit aufgefaßt werden. Die totale Schreibunfähigkeit stände als apraktische, der Sprechunfähigkeit analoge, von dieser an sich unabhängige Störung, deren Häufigkeit aber nach Maßgabe der anatomischen Verhältnisse verständlich erscheint, neben ihr. Fraglich ist die Auffassung der geschriebenen Paraphasie; am wahrscheinlichsten ist es auch jetzt noch, daß diese Störung, die nach dem Obigen auf eine Schädigung des Buchstabenwortes zurückzuführen wäre, tatsächlich durch eine Läsion der *Broca*schen Stelle bedingt werden kann (siehe oben S. 217); die Ansicht mancher Autoren, daß derartige Störungen schon auf Komplikation mit weitergehenden Herden hinwiesen, läßt sich aber jedenfalls nicht endgültig abweisen; Analoges gilt für leichtere Lesestörungen; die bei *Broca*scher Aphasie übrigens seltene totale Alexie darf wohl heute schon mit Sicherheit auf Ausdehnung des Herdes in occipitaler Richtung bezogen werden; das gleiche gilt mit großer Wahrscheinlichkeit auch für die ausnahmsweise zu beobachtende (in den typi-

schen Fällen nach dem früher Angeführten fehlende!) Wortamnesie. Die Annahme, daß gleiches auch für die zuweilen beobachteten Störungen des Satzsinnverständnisses gilt, läge nahe; angesichts der Bedeutung, welche dem *Broca*schen Zentrum für die Entstehung des Agrammatismus zuzukommen scheint, läßt sich aber die Möglichkeit nicht von der Hand weisen, daß ihm auch für das Zustandekommen der entsprechenden Erscheinungen auf rezeptivem Gebiete ein gewisser Einfluß zukomme.

Von den Symptomen der *Wernicke*schen Aphasie darf mit Sicherheit als unmittelbarer Ausdruck der Läsion der *Wernicke*schen Stelle die Aufhebung des Sprachverständnisses (in schweren Fällen schon des Wortlautverständnisses) aufgefaßt werden, aus der sich notwendig auch eine Aufhebung respektive Beeinträchtigung des Nachsprechens ergeben muß, während andrerseits nach dem Obigen wenigstens mit der Möglichkeit gerechnet werden muß, daß auch noch spezielle Verbindungen existieren, deren Läsion das Nachsprechen schädigt; die Folgen dieser Läsion könnten sich dann eventuell zu den Folgen der Läsion der *Wernicke*schen Stelle hinzuaddieren und jene selteneren Fälle erklären, in denen die Störung des Nachsprechens über die des Sprachverständnisses überwiegt. Die Störungen des Lesens und Schreibens werden in ihrer Mehrzahl auf die bei Läsion der *Wernicke*schen Stelle so häufigen Störungen des Buchstabenwortes bezogen werden dürfen; in den Fällen vollständiger Alexie wird man aber wohl, ohne fehlzugehen, auf eine Mitläsion der occipitalen Ausläufer der Aphasieregion schließen dürfen, während die ganz seltenen Fälle sensorischer Aphasie mit totaler Agraphie noch der Erklärung harren.

Die Betrachtungsweise, welche hier allerdings nur in den gröbsten Umrissen für die zwei Hauptformen durchzuführen versucht wurde, ließe sich auf jede beliebige andere Kategorie anwenden, und das Endziel wäre, daß sie sich individuell jeder Einzelbeobachtung gegenüber anwendbar erweisen würde, so daß also, um noch einmal das Wesentliche hervorzuheben, nicht etwa stets eine zentrale Läsion und Störung zu statuieren wäre, aus der die einzelnen Symptome abzuleiten wären, sondern die gesamten Symptome jeweils als Ausdruck einer Kombination anatomischer Schädigungen zu erklären wären. Wie weit wir von einer derartigen Möglichkeit gegenüber den Variationen des Einzelfalles zumeist noch entfernt sind, bedarf nach den bisherigen Erörterungen kaum nochmaliger Betonung; wohl mag aber nochmals darauf hingewiesen werden, daß die übergroße Mehrzahl der zur klinischen und anatomischen Untersuchung gelangenden Fälle nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse eine derartige detaillierte Inbeziehungsetzung klinischer und anatomischer Befunde überhaupt nicht erlaubt, ohne zu den schwersten Täuschungen, wie sie sich gerade aus der isolierten Betrachtung von Einzelbeobachtungen früher ergeben haben, neuerdings Anlaß zu geben. Die Aphasieforschung allein wird zur Lösung all der noch offenen Fragen niemals imstande sein, sie wird in ihren weiteren Fortschritten sehr wesentlich angewiesen sein und Rücksicht zu nehmen haben auf die Fortschritte auf all denjenigen

Gebieten, die oben als ihre Hilfswissenschaften genannt wurden. Der Aphasieforschung selbst bleibt zunächst als spezielles Gebiet vorbehalten die Durcharbeitung der klinischen Details und namentlich der gegenseitigen Beziehungen der Störungen. Es läßt sich nicht in Abrede stellen, daß in dieser Beziehung, wesentlich wohl unter dem Einflusse einer schematischen Betrachtungsweise, bedauerliche Lücken offen geblieben sind, die auszufüllen wären und an deren Ausfüllung auch in den letzten Jahren von den verschiedensten Seiten gearbeitet wurde. Daß diese Arbeit nicht vergebens gewesen ist und daß demnach auch noch weiterer Fortschritt von ihr erwartet werden darf, dafür ist die Förderung und Anregung ein Beweis, welche die ganze Aphasiefrage in den letzten Jahren aus den klinischen Untersuchungen und Feststellungen bezüglich der Apraxie geschöpft hat. Man wird sie mit gutem Rechte gegenüber einer begreiflichen, aber doch wohl nicht berechtigten Auffassung ins Feld führen dürfen, welche aus den Differenzen der Ergebnisse der so fruchtbaren klassischen und der minder glücklichen nachklassischen Periode der Aphasieforschung den resignierten Schluß ableitet, daß wir mit den Feststellungen *Brocas* und *Wernickes* schon bis zur Grenze des überhaupt Feststellbaren gelangt seien, und daß ein ferneres Mühen ebensowenig Erfolg verspräche, als ihn die unendliche Arbeit der Nachfolger *Brocas* und *Wernickes* bisher erbracht hätte.

Eingehendere Darstellungen und Literatur bei:

Ballet, Die innerliche Sprache und die verschiedenen Formen der Aphasie. Deutsch von *Bongers.* Leipzig und Wien 1880.

Bastian, A treatise on aphasia and other speech defects. London 1898.

Bernard, De l'aphasie et de ses diverses formes. Paris 1889.

Bernheim, L'aphasie motrice. Thèse de Paris. 1900.

Broca, Mémoires sur le cerveau de l'homme et des primates. Publiés par *Pozzi;* Paris 1888, pag. 1—162, die Abhandlungen über: Le siège de la faculté du langage articulé.

Déjérine, Sémiologie du système nerveux, in *Bouchard,* Pathol. génér., Bd. 5, S. 359ff. Paris 1901.

Egger, La parole intérieure. Paris 1904.

Elder, Aphasia and the cerebral speech mechanism. London 1897.

S. Freud, Zur Auffassung der Aphasien. Leipzig und Wien 1891.

Gilbert Ballet et *Laignel-Larastine* in: *Gilbert* et *Thoinot,* Sémiologie nerveux. Paris 1911.

Grasset, Les centres nerveux. Paris 1905, S. 288ff.

Heilbronner in: *Lewandowsky,* Handbuch der Neurologie. Berlin 1910, Bd. I, S. 982 ff.

Kußmaul, Störungen der Sprache. Leipzig 1877.

Liepmann, Über Störungen des Handelns bei Gehirnkranken. Berlin 1905.

Mirallié, De l'aphasie sensorielle. Thèse de Paris, 1896.

v. Monakow in: Die Ergebnisse der Physiologie. Bd. 6, S. 354, 1907.

Rieger, Über Apparate in dem Hirn. Jena 1909.

Ross, On Aphasia. London 1887.

Saint Paul, Le langage intérieur et les paraphasies. Paris 1904.

Stern, Die Kindersprache. Leipzig 1907.

Wernicke, Der aphasische Symptomenkomplex in: Deutsche Klinik, Bd. VI. S. 487. 1903.

Die kolloiden Zustandsänderungen der Eiweißkörper.*)

Von **Wolfgang Pauli**, Wien.

Ihre starke Anziehungskraft auf die Forscher und damit ihren gewaltigen Aufschwung, dem sich nur wenige Beispiele aus dem Entwicklungsgange der Wissenschaften an die Seite stellen lassen, verdankt die Kolloidchemie zu einem nicht geringen Teile dem Umstande, daß die Eiweißkörper, die unentbehrlichen Bausteine alles Lebendigen, fast nur im kolloiden Zustande bekannt sind und wohl die am meisten verbreiteten Vertreter desselben darstellen. Auf diese geht die *Graham*sche Bezeichnung Kolloide zurück: die großen Schwierigkeiten, welche sie der rein chemischen Forschung bereiteten, drängten naturgemäß nach der Seite ihrer kolloidchemischen Bearbeitung: hier winkten neue Fragestellungen und Lösungen für die allgemeine Physiologie, welche auf anderem Wege gar nicht erreichbar waren, und so wurde allmählich ein umfangreiches Gebiet der Kolloidchemie zum fruchtbaren Arbeitsfelde der Biologen. In der Tat bildet die Kolloidchemie der Eiweißkörper ein großes und vielleicht das wichtigste Kapitel einer künftigen physikalischen Chemie der Zelle.

Ihren Ausgang nahm die Kolloidchemie von einer strengen Sonderung der Kolloide und Krystalloide, welche einer genaueren Erforschung der Eigentümlichkeiten und hervorstechendsten Gesetzmäßigkeiten der Kolloide zunächst sehr förderlich war. Allmählich trat aber mit dem wachsenden Tatsachenmaterial die Erkenntnis immer deutlicher hervor, daß der kolloide Zustand nicht an eine besondere chemische Struktur gebunden sei, sondern an den Grad der Zerteilung der Materie. Man lernte die Grenzen des Dispersitätsgrades bestimmen, innerhalb welcher ein Stoff die Kennzeichen eines Kolloides aufwies, Grenzen, die auf der einen Seite an das Gebiet der groben Suspensionen und Emulsionen, auf der anderen an das der echten Lösungen oder molekularen Dispersionen reichten.[1]) Man ge-

---

*) Diese Darstellung will schon ihrem geringen Umfange nach keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Ihr Ziel ist allein, hauptsächlich gestützt auf die eigenen Arbeiten des Autors und seiner Schüler, die sich auf fast 15 Jahre erstrecken, soweit dies heute schon möglich ist, ein Bild des inneren Zusammenhanges der verschiedenen Zustandsänderungen der Eiweißkörper zu entwerfen.

wann ferner einen so klaren Einblick in die Bildungsbedingungen von Dispersionen, daß es prinzipiell möglich wurde, einen jeden Stoff im kolloiden Zustande herzustellen *(P. P. v. Weimarn)*.

Auch die Untersuchungsergebnisse bei Eiweißkörpern nahmen ihren Einfluß auf die Systematik der Kolloide, insbesondere kam hier die große Bedeutung der Beziehungen von disperser Phase (des zerteilten Stoffes) zum Dispersionsmittel zum Ausdruck. Ursprünglich als Repräsentanten der Kolloide überhaupt betrachtet, erwiesen sich die Eiweißkörper bald in vieler Hinsicht als Typen einer besonderen Gruppe und gaben durch ihre Eigenart mit den Anlaß zur Aufstellung zweier Klassen von Kolloiden, der Suspensoide und Emulsoide *(Wo. Ostwald)* oder lyophilen Kolloide.

Die lyophilen Kolloide besitzen disperse Teilchen, die in innigerer Beziehung zum flüssigen Medium stehen, wobei man für Wasser als Dispersionsmittel an eine Umgebung jedes einzelnen Partikelchens mit einer Wasserhülle oder an eine Quellung desselben oder an direkte Bildung von Hydraten denken kann. Die Eiweißkörper gehören zu den lyophilen Kolloiden. Ihre Lösungen sind im Gegensatze zu den Suspensoiden (z. B. Metallsolen) erst durch hohe Neutralsalzkonzentrationen fällbar und besitzen eine beträchtliche innere Reibung. Die auffallendste allgemeine Kolloideigenschaft der Eiweißstoffe ist ihre Unfähigkeit zu dialysieren, durch Membranen zu dringen. Wir dürfen nach den systematischen Untersuchungen von *W. Biltz* [2]) an Farbstoffen dieses Verhalten in erster Linie auf die Molekulargröße der Proteine beziehen.

Trotz des so ausgesprochen kolloiden Charakters sämtlicher Eiweißkörper hat sich für das Studium ihrer physikalischen Zustandsänderungen ein freierer Standpunkt als förderlich erwiesen, der auch, so weit es ohne Zwang möglich, gewisse Analogien mit dem Verhalten verdünnter Elektrolyte berücksichtigt. Ferner hat sich gezeigt, daß die einfachen kolloiden Zustandsänderungen, also Änderungen des Dispersitätsgrades und der Assoziation der Teilchen, beim Eiweiß oft von irreversiblen oder nicht umkehrbaren Veränderungen begleitet sind, die mit molekularen Umlagerungen zusammenhängen, wodurch neue Gesetzmäßigkeiten die ursprünglichen überlagern und komplizieren.

Angaben über die allgemeinen kolloiden Eigenschaften von Eiweißlösungen, welche strenger Kritik standhalten, sind nicht in allzu großer Zahl vorhanden, da das von den meisten Untersuchern verwendete Material nur selten einer genügenden Reinigung unterworfen wurde. Selbst wenn wir davon absehen, daß es sich in den meisten Fällen um eine Mischung mehrerer Eiweißarten handelt, die von fettartigen Kolloiden (Lipoiden) nicht frei ist, bleiben auch noch Beimengungen von Salzen übrig, deren Einfluß selbst in geringen Konzentrationen nach neueren Untersuchungen ein recht bedeutender sein kann. So existieren kaum ultramikroskopische Untersuchungen an genügend reinen Eiweißlösungen. Dieses gilt beispielsweise für die zahlreichen Beobachtungen von *Rählmann*, trotzdem sie manche interessante Feststellungen, wie die Verfolgung der peptischen Verdauung an den Ultra-

mikronen, enthalten. Sicher ist, daß dünne Eiweißlösungen, wie nach *W. Menz*[3]) solche von heißer Gelatine, unter dem Ultramikroskop zumindest einen deutlichen Lichtkegel zeigen. In der Regel finden sich daneben mehr oder wenige zahlreiche Submikronen, welche sich z. B. beim Abkühlen der Gelatine vermehren. Auch an einem sorgfältig dialysierten Serumeiweiß fand *Pulay*[4]) an unserem Institute neben einem diffusen Nebel reichlich Submikronen, die nicht gut auf Globulinreste zu beziehen waren, da sie sich auf Zusatz kleiner Salzmengen nicht zerteilten.

Der Diffusionskoeffizient der Eiweißkörper ist klein und wird von dem der Elektrolyte hundert- und mehrmal übertroffen, ebenso zeigt sich der hochkolloide Charakter der Eiweißkörper bei der Ultrafiltration (*Martin*[5]), *Bechhold*[6]), beim Durchpressen durch Filter von abstufbarer Porenweite (*H. Bechhold*[6]). Allein alle auf solchen Methoden beruhenden Schätzungen des Molekulargewichtes sind sehr zweifelhaft. Das Gleiche gilt für direkte Messungen des osmotischen Druckes und der Gefrierpunktsdepression.

Sämtliche Kolloide zeigen in der Regel eine mehr oder weniger deutliche elektrische Ladung, in ihren Vorzeichen erkennbar an der Wanderung im elektrischen Feld. Über den Ursprung dieser Ladung ist die Diskussion noch nicht abgeschlossen. Während *Billiter*[7]) die zerstäubten Metallteilchen in Metallsolen als kleine Elektroden betrachtet, welche sich unter Aussenden von positiven Metallionen negativ aufladen, bilden nach *Hardy*[8]) die Teilchen von in Wasser verstäubten Edelmetallen Hydride, die Wasserstoffionen dissoziieren. Die schon vor *Hardy* gemachte Annahme[9]), daß die unedlen Metalle in Wasser als kolloide Metallhydroxyde zerteilt sind, findet in Beobachtungen über Metallgiftwirkungen auf Zellen und an Schwermetalleiweißverbindungen eine Stütze.

Die Eiweißkörper sind dadurch ausgezeichnet, daß sie ohne Zerstörung ihres Kolloidcharakters sowohl geladene als auch unelektrische Teilchen bilden können. Vorhandensein und Vorzeichen der elektrischen Ladung bestimmen hier in hohem Maße die unter sonst gleichen Bedingungen eintretende kolloide Zustandsänderung.

Als wesentliches Merkmal der Eiweißkolloide wurde deren lyophiler Charakter, die Fähigkeit mit dem Lösungsmittel nach Art der Solvatbildung in innige Beziehungen zu treten, bezeichnet. Mit dem Grade seines lyophilen Verhaltens hängt die Stabilität des Eiweißes gegen gewisse Fällungsmittel, seine Löslichkeit und sein Aggregatzustand zusammen. Änderungen im lyophilen Charakter können schließlich seine Reaktionen als Kolloid denen der Suspensoide oder lyophoben Kolloide nähern. Die lyophile Beschaffenheit verschiedener Proteine zeigt gleichfalls eine große Variation und es läßt sich leicht eine Reihe derselben aufstellen, deren Endglieder Extreme darstellen, wie vom hochlyophilen Leim über Albumin, Globulin zum schwach lyophilen Kasein.

Die recht verwickelten Zusammenhänge der verschiedenen kolloiden Zustandsänderungen können erst bei der folgenden systematischen Dar-

stellung deutlich werden. Eine solche ließe sich nach mehreren Gesichtspunkten gliedern. Die Zustandsänderungen können reversibel oder irreversibel sein, je nachdem eine Rückbildung durch einfache Umkehr der Erzeugungsbedingungen, wie etwa Erwärmen — Abkühlen, Konzentrieren — Verdünnen usf., möglich ist oder nicht. Es lassen sich weiter die Erscheinungen, die bei flüssigen Eiweißlösungen oder Solen auftreten, von denen an festen, sogenannten Gallerten trennen. Die neueren Untersuchungen haben immer mehr gezeigt, daß der stärkste Unterschied im lyophilen Charakter und damit in den kolloiden Reaktionen durch das Vorhandensein oder die Abwesenheit der elektrischen Ladung hervorgebracht wird und daß der Umstand, ob ein geladenes (jonisches) oder unelektrisches (neutrales) Protein vorliegt, eine große Anzahl von Eigenschaften prinzipiell bestimmt, die zum Teil für Eiweißkolloide besonders charakteristisch sind. Es sind dies innere Reibung, Quellung, Löslichkeit, Steighöhe im Osmometer, Gerinnbarkeit durch Alkohol und Hitze, Oberflächenspannung und optische Drehung. Durch diese weitgehende Abhängigkeit der Zustandsänderungen von der elektrischen Ladung des Proteins erscheint die Gliederung nach den Eigenschaften des jonischen und des elektrisch neutralen Eiweißes weitaus am übersichtlichsten. Daneben soll schon im Interesse einer besseren Verteilung des großen Tatsachenmateriales die Trennung nach Eiweißsolen und Gallerten beibehalten werden.

Die Fortschritte in der Kolloidchemie der Eiweißkörper haben auch in rein chemischer Richtung fördernd gewirkt, namentlich auf die Bemühungen zur Charakterisierung und Isolierung verschiedener Proteine durch physikalisch-chemische Merkmale. Vervollkommnung in der Bestimmung der Gerinnungstemperatur, ferner der optischen Konstanten (Drehung, Brechungsexponent) durch Berücksichtigung des Einflusses der Beimengungen und vor allem die Fraktionierung durch Salzfällung wären hier in erster Linie zu nennen. In jüngster Zeit kommen die Bestrebungen dazu, die Eiweißkörper in elektrochemischer Hinsicht zu charakterisieren, ihre Stärke (Affinitätskonstanten) als Säure und Base zu messen. Von diesen Versuchen ist der wichtigste die Bestimmung ihrer mittleren Säure- und Basenstärke, weil deren Quotient eine von der Konzentration weitgehend unabhängige Konstante darstellt ähnlich wie die sogenannte Dissoziationskonstante eines schwachen Elektrolyten. Alle übrigen physikalisch-chemischen Konstanten der Proteine besitzen dagegen infolge der Unmöglichkeit, diese in molaren Konzentrationen miteinander zu vergleichen, nur einen relativ beschränkten Wert.

Von der großen Reihe der Eiweißstoffe ist bei der Schwierigkeit der physikalisch-chemischen Methodik, die vielfach erst dem Material angepaßt werden muß, und bei der verschiedenen Zugänglichkeit desselben nur ein kleiner Teil Gegenstand einer eingehenden kolloidchemischen Untersuchung geworden. Zumeist sind es tierische Proteine, in erster Reihe Albumin, Glutin, Globulin und Kasein, die das Prüfobjekt der Kolloidforscher ge-

bildet haben. Trotz dieser Begrenztheit des Materiales und der nicht geringen technischen Hindernisse für eine strenge quantitative Untersuchung ist die Fruchtbarkeit der neuen Arbeitsrichtung durch die Erschließung ungeahnter Zusammenhänge erwiesen. Biologie, nicht minder aber auch Chemie und Industrie haben durch sie reiche Anregung und Förderung erhalten und sicher viel mehr noch zu erwarten.

A. Eiweißsole.

I. Das neutrale genuine Eiweiß.

Wenn man ein durch energisches Zentrifugieren von den Blutkörperchen befreites Tierserum im Pergamentpapiersack einer bis sechswöchentlichen Dialyse gegen fließendes destilliertes Wasser bei Ausschluß von Fäulnis unterwirft, so gewinnt man neben einem mächtigen Globulinniederschlag eine ganz wasserklare Flüssigkeit, die bei einem minimalen Gehalt an Elektrolyten, Globulin und Serumlipoiden (Lecithine, Cholesterin) etwa 2% Albumin enthält. Eine solche Lösung gibt eine gute Stammflüssigkeit für die meisten Kolloidversuche am Eiweiß. Ihr Albumin ist noch in genuinem oder nativem Zustande, seine ursprünglichen physikalisch-chemischen Eigenschaften sind erhalten. Ein Eiweiß, dessen native Eigenschaften dauernd verändert sind, heißt denaturiert. Auch eine Gelatine, die durch einige Wochen in strömendes destilliertes Wasser und zum Schlusse in das besonders gereinigte sogenannte Leitfähigkeitswasser gehängt wurde, gibt bei Verdünnung eine für viele Zwecke geeignete praktisch genuine Proteinlösung. Solche Lösungen zeigen nahezu die Leitfähigkeit des destillierten Wassers und bei elektrischer Durchströmung etwa in einem U-Rohr nur eine sehr geringfügige Wanderung von Eiweiß zum positiven Pol, sie ententhalten also nur eine minimale Menge (negativ) elektrisch geladener Teilchen oder Ionen (*Landsteiner* und *Pauli*[10]), *Botazzi*[11]), *Michaelis*[12]).

Den Umstand, daß eine so gereinigte Eiweißlösung fast nur ungeladene oder elektrisch neutrale Partikel enthält, können wir in ähnlicher Weise deuten, wie bei anderen schwachen Elektrolyten. Das Eiweiß verhält sich entsprechend seiner überwiegenden Zusammensetzung aus Monoaminosäuren wie eine sehr schwache Säure. Solche Säuren dissoziieren nur wenig unter Bildung positiver Wasserstoffionen und eines negativen Restes und bestehen deshalb zum größten Teil aus elektrisch neutralen Molekülen. Fügt man zur Lösung einer sehr schwachen Säure kleine Mengen einer starken, also nahezu vollständig dissoziierten Säure hinzu, so wird nach dem Massenwirkungsgesetz schließlich die Ionisation der schwachen Säure so gut wie vollständig zurückgedrängt. Diese ist dann praktisch nur in Form von elektrisch neutralen Teilen vorhanden. In der Hauptsache sind die Verhältnisse bei unserer neutralen Eiweißlösung analog. Setzt man hier Spuren einer stärkeren Säure hinzu, so wird gleichfalls die noch vorhandene geringe Ionisation weiter zurückgedrängt und die Zahl der Neu-

tralteilchen entsprechend gesteigert. Nach weiterer Säurezugabe werden allerdings die Verhältnisse beim Eiweiß verschieden von denen bei einer einfachen schwachen Säure. Eiweiß ist seiner Konstitution nach (Aminogruppen) nicht nur eine Säure, sondern es kann mit stärkeren Säuren auch als Base reagieren und diese Wirkung tritt in die Erscheinung, sobald der Säuregrad (H-Ionenkonzentration) einen gewissen Wert überschreitet. Während also der gesteigerte Zusatz etwa von Salzsäure zur schwachen Essigsäure immer die Zahl der Essigsäureionen vermindert, wird der Überschuß von Säure beim Eiweiß, das nun als Base reagiert, wieder zur Bildung neuer Eiweißionen führen, welche, wie das Metallion in einem Salze, eine elektropositive Ladung besitzen. Wir nennen Körper, die mit Säuren und Basen unter Ionenbildung reagieren, mit *Bredig* amphotere Elektrolyte und bei solchen vom Typus des Eiweiß wird Säurezusatz bei einer bestimmten Wasserstoffionenkonzentration in der Lösung zu einem Maximum der Neutralteilchen oder einem Minimum der Ionenzahl führen. Diese Konzentration wird als isoelektrischer Punkt *(Hardy, Michaelis)* bezeichnet und gestattet leicht die Berechnung des Quotienten. aus Säure- und Basenstärke des amphoteren Elektrolyten. Es hat sich nun gezeigt, daß nur die elektrisch neutralen Eiweißteilchen durch Hitze oder Alkohol koaguliert werden (*Pauli* [13]) und daß die Viskosität vom neutralen zum ionischen Eiweiß sprunghaft wächst (*Laqueur* und *Sackur* [14]) am Casein, *Hardy* [15]) am Globulin, *Pauli* [16]) am Albumin). Da die Zahl der elektrisch neutralen Teilchen im isoelektrischen Punkt ein Maximum hat (*L. Michaelis* [17]), so werden hier auch Hitze und Alkoholfällbarkeit ein Maximum, die innere Reibung ein Minimum aufweisen. Wie noch näher erörtert werden soll, wird durch Basen eine elektrische Überführung von Eiweiß zum positiven, durch Säuren zum negativen Pol bewirkt infolge Bildung negativer beziehungsweise positiver Eiweißionen. Im isoelektrischen Punkte ist die Zahl der in der Lösung vorhandenen negativen und positiven Eiweißionen gleich *(Michaelis)*, es wird hier ein Indifferenzpunkt auftreten, eine gleichstarke doppelsinnige Wanderung von Eiweiß im elektrischen Felde. Man kann also durch Messung des Maximums oder Minimums gewisser kolloider Zustandsänderungen oder durch Beobachtung der elektrischen Überführung den für die physikalisch-chemische Charakterisierung eines Proteins wertvollen Quotienten der mittleren $\frac{\text{Säurestärke } (K_a)}{\text{Basenstärke } (K_b)}$ bestimmen.

Am meisten wurde von *L. Michaelis*, der die Bedeutung des isoelektrischen Punktes zuerst hervorgehoben hat, Hitzekoagulation und Elektrophorese zu seiner Feststellung herangezogen, doch sind viele dieser Bestimmungen infolge der anfangs unentwickelten Methodik und durch Unreinheiten des Materiales beeinträchtigt. Von den angegebenen Werten des isoelektrischen Punktes verschiedener Proteine dürften erst seine letzten am Serumalbumin ermittelten den tatsächlichen Größen genügend nahe kommen. Danach liegt der isoelektrische Punkt des durch Hitze denaturierten Serumeiweiß bei $0{\cdot}4 \,.\, 10^{-5}$ H-Ionengehalt, des genuinen Albumins bei $2 \,.\, 10^{-5}$.

Daraus berechnet sich $\frac{K_a}{K_b}$ (von *Michaelis* relative Acidität genannt) für diese zwei Eiweißtypen mit $3 . 10^3$ bzw. $7 . 10^4$.

Einen anderen Weg zur exakten Bestimmung des isoelektrischen Punktes schlugen *Pauli* und *Samec*[17]) ein. Bringt man eine Eiweißlösung in ein mit Steigrohr versehenes kolloidundurchgängiges Gefäß, z. B. aus Celloidin und läßt ihr genügend Zeit, sich mit einer wässerigen Außenflüssigkeit ins Gleichgewicht zu setzen, so zeigt ein solches „Osmometer" einen Anstieg der Flüssigkeit im Steigrohr, der sehr wesentlich vom Zustande der Eiweißlösung bestimmt wird. Er ist sehr hoch in ionischer und wird sehr gering in neutraler Eiweißlösung. Ein Maximum der neutralen Teilchen wird sich durch ein Minimum der Steighöhe markieren, und da es durch eine Vervollkommnung der Methodik möglich war, die Werte ausgiebig und streng reproduzierbar zu gestalten, so ist auf diesem Wege der isoelektrische Punkt scharf und sicher zu bestimmen. Er entspricht dem zu einem Minimum des Osmometerdruckes zugehörigen Säuregrad. Auf diese Weise konnte nicht nur der Wert von $\frac{K_a}{K_b}$ für eine besonders reine Gelatinelösung, sondern auch seine Abhängigkeit von der Temperatur ermittelt werden.

Wie bereits hervorgehoben wurde, unterliegen nur die elektrisch neutralen Eiweißteilchen der Koagulation durch Hitze und Alkohol. Die Natur dieses Koagulationsvorganges ist noch nicht sichergestellt. Die ursprüngliche Anschauung, daß dieser anfangs reversibel sei, wurde sowohl betreffs der Hitzegerinnung (*Pauli*[19]), als auch der Alkoholfällung (*Pauli* und *Brüll*[18]) widerlegt. In beiden Fällen kommt es zu einer irreversiblen Veränderung oder Denaturierung der Eiweißkörper, deren Reaktionsgeschwindigkeit von dem Grade der Einwirkung (Temperatur, Alkoholkonzentration) abhängt. Der Vorgang der Denaturierung und die Assoziation der Teilchen zu größeren bis zur Flockenbildung können in verschiedenem Maße durch gewisse Faktoren (s. u.) gehemmt werden, wodurch eine mehr oder minder vollständige Trennung der zwei Prozesse, Denaturierung und Flockung, möglich wird.

Die Gerinnungstemperatur kann zu einer annähernden Charakterisierung des betreffenden Proteins bei Bestimmung unter den gleichen Bedingungen verwendet werden. Sie ist für genuines neutrales Albumin unter günstigen Umständen auf 0·4° C reproduzierbar. Zu praktisch chemischen Zwecken der Enteiweißung durch Hitze ist es vorteilhaft, andere leichter auf ihr Maximum einstellbare neutrale Eiweißkomplexe in der Lösung herzustellen, wie sie beispielsweise beim Zusammenwirken von Säure und Neutralsalz entstehen. Die Alkoholkoagulation wird sehr häufig in ähnlicher Weise wie die Hitze zur Enteiweißung verwendet. Von den koagulierenden Eigenschaften der verschiedenen Alkohole (*K. Spiro*[20]) hat diejenige des Phenols wegen der Beziehungen zu seinen desinfizierenden Eigenschaften *(Spiro, Reichel)* ein besonderes Interesse.

Die beim Erwärmen stattfindende Eiweißdenaturierung prägt sich schon tief unter der Koagulationstemperatur durch gewisse chemische Änderungen des Albumins (*L. Moll*[21]) und durch eine dauernde Abnahme der Viskosität aus, die an unserem gereinigten neutralen Eiweiß selbst bei Körpertemperatur recht erheblich wird. So fiel die Durchströmungszeit eines gereinigten 1%igen Rinderserums, die bei 25° 694 Fünftelsekunden betrug, nach zweistündigem Halten bei 37° C und Zurückbringen zur Ausgangstemperatur in Versuchen *Handovskys*[22]) auf 682.

Anschließend sei hier auf eine Ausflockung von Eiweiß hingewiesen, die zuerst von *Ramsden*[23]) einer eingehenden Untersuchung gewürdigt wurde. Nach einem von *W. Gibbs* aufgestellten Theorem müssen Stoffe, welche durch ihre Lösung die Oberflächenspannung eines Mediums erniedrigen, sich in dessen Oberfläche anreichern. Dies gilt nun in besonderem Maße für Eiweiß, dessen Verdichtung in der Oberfläche zur Bildung fester Häutchen führt. Die so angezeigte Aggregation endet schließlich beim neutralen Eiweiß mit einer irreversiblen Umwandlung, wobei das Eiweiß seine Wiederlöslichkeit verliert. Es ist derart durch Bildung immer neuer Oberflächen, z. B. beim Schütteln von Eiweiß mit Gasen, möglich, eine Proteinlösung ganz auszuflocken. Eine ähnliche Denaturierung hat *Metcalf*[24]) an Peptonhäutchen erzielen können. Die Oberflächenflockung der Proteine ist noch eines näheren Studiums bedürftig.

Von der Koagulation durch Alkohol und Hitze erscheint die Fällung durch hohe Salzkonzentration auffällig verschieden, weil diese nach nicht zu langer Einwirkung praktisch vollständig reversibel ist. Das genauere Studium der Beziehungen von neutralem Eiweiß und Salzionen hat jedoch ergeben, daß diese Verschiedenheit nur eine relative ist.

II. Salzioneneiweißverbindungen.

Für die Erkenntnis der Beziehungen von Salzionen zu neutralem Eiweiß gewannen vorerst die Eigenschaften der Globuline eine Bedeutung. Die im Organismus regelmäßig neben den Albuminen vorkommenden Globuline sind im Gegensatz zu den ersteren wasserunlöslich und erlangen ihre Löslichkeit erst durch Zusatz von Elektrolyten. Nichtelektrolyte wie Harnstoff oder Zucker sind hier unwirksam. Da es sich bei diesem Effekt der Elektrolyte um sehr verdünnte, also fast vollständig ionisierte Lösungen handelt, so liegt bei der Globulinlösung eine Ionenwirkung vor. Diese Feststellungen führten zu der Annahme (*Pauli*[25]), daß das neutrale Eiweiß bei Anwesenheit von Salz in Form einer Ioneneiweißverbindung existiert. Zugleich wurde aus den Beziehungen von Eiweiß zu Säuren und Basen die Vorstellung abgeleitet, daß die amphotere Natur der im Protein enthaltenen Aminosäuren eine gleichzeitige Bindung positiver und negativer Salzionen ermögliche. Diese Annahme von Salzioneneiweißverbindungen, die auf Grund physiologischer Erfahrungen etwas später unabhängig von *J. Loeb*[26]) aufgestellt wurde, wurde dann mit Erfolg an anderen Eiweißkörpern geprüft und insbesondere durch den Nachweis ergänzt, daß diese

Salzproteine den Charakter von Adsorptionsverbindungen besitzen. Wir wissen, daß zahlreiche Stoffe im Zustande feiner Zerteilung die Fähigkeit besitzen, andere Substanzen aus Lösungen aufzunehmen und an ihrer Oberfläche festzuhalten, zu adsorbieren. Der gelöste und der adsorbierte Anteil der Substanz stehen in einem gewissen Konzentrationsverhältnis, das vor allem dadurch gekennzeichnet ist, daß aus niederen Konzentrationen relativ größere Mengen adsorbiert werden als aus höheren. Ähnlich wie Suspensionen verhalten sich auch die kolloid dispersen Systeme.

Die Gesetze der Adsorption sind insbesondere durch die Untersuchungen von *H. Freundlich*[1]) fest begründet worden. Für die Beziehung der Konzentrationen der in Lösung gebliebenen (C_2) und der adsorbierten Substanz (C_1) fand sich in einer ungemein großen Zahl untersuchter Gleichgewichte die Formel $C_1 = K\,C_2^m$, wo K und m Konstante darstellen. Diese kann auch $\log . C_1 = \log K + m . \log C_2$ geschrieben werden und bedeutet in dieser Fassung, daß die durch Auftragen der Logarithmen der Konzentrationen als Koordinaten gewonnenen Punkte auf einer Graden liegen.

Es wurden mehrere Wege eingeschlagen (*Pauli* und *Handorsky*[27]), um die Beziehungen von Salzionen zu Eiweiß zu studieren, zunächst anknüpfend an eine ältere Beobachtung (*Pauli*[25]) mittelst der Beobachtung der Hitzekoagulation. Die Hitzegerinnung eines sorgfältig von Elektrolyten befreiten Serumalbumins wird durch Neutralsalzzugabe gehemmt, die Gerinnungstemperatur also erhöht. Diese Erhöhung konnte als Maß für die Bindung der Salzteilchen ans Eiweiß angenommen werden. Das folgende Diagramm — Gerinnungstemperatur als Ordinate, Salzkonzentration als Abszisse — läßt deutlich erkennen, daß niederer Salzgehalt relativ wirksamer ist als hoher (Fig. 83).

Trägt man die Logarithmen der obigen Werte an ihrer Stelle auf, so erhält man in der Tat die von der Adsorptionsformel geforderten Geraden (Fig. 84).

Damit war festgestellt, daß die Einwirkung der Salzionen — es handelt sich um sehr verdünnte Lösungen — auf die Hitzegerinnung von neutralem Eiweiß dem Adsorptionsgesetze folgt.

Daß es sich um eine Art Oberflächenwirkung der Salzionen auf die Eiweißteilchen handelt, wurde ferner wahrscheinlich gemacht durch Beobachtungen über die innere Reibung dieser Eiweißlösung, die ausnahmslos durch Neutralsalze (der Alkalien und Erdalkalien) erniedrigt wird, als ob an Stelle der stark reibenden Trennungsfläche Albumin — Wasser die Grenzfläche Salz — Wasser getreten wäre. Weiters fand sich (*Pauli* und *Bräll*[18]) daß eine ganz analoge Hemmung wie auf die Hitzegerinnung auch auf die Alkoholfällung seitens der Salzionen ausgeübt werde. Schließlich konnte der Beweis, daß es sich bei diesen Ionenwirkungen auf Reibung und Koagulation um eine einheitliche Grunderscheinung handelt, dadurch erbracht werden, daß verschiedene Nichtelektrolyte, welche die Eiweißviskosität nicht ändern, auch die entsprechende Behinderung der Hitze- und Alkoholfällung

gänzlich vermissen lassen. Beobachtungen über Leitfähigkeit und Gefrierpunkt sowie elektrometrische Ionenbestimmungen an Salzeiweißmischungen zeigen, daß die zu so starken Abweichungen bei den Zustandsänderungen

Fig. 83.

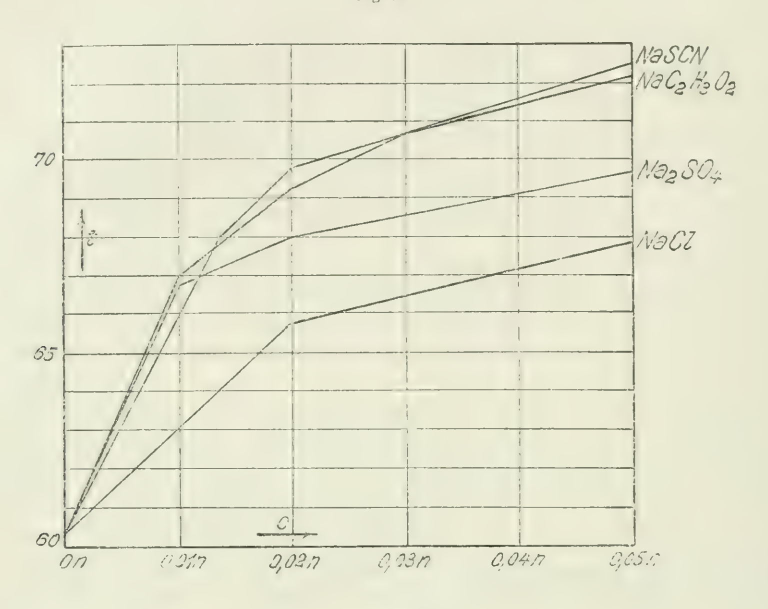
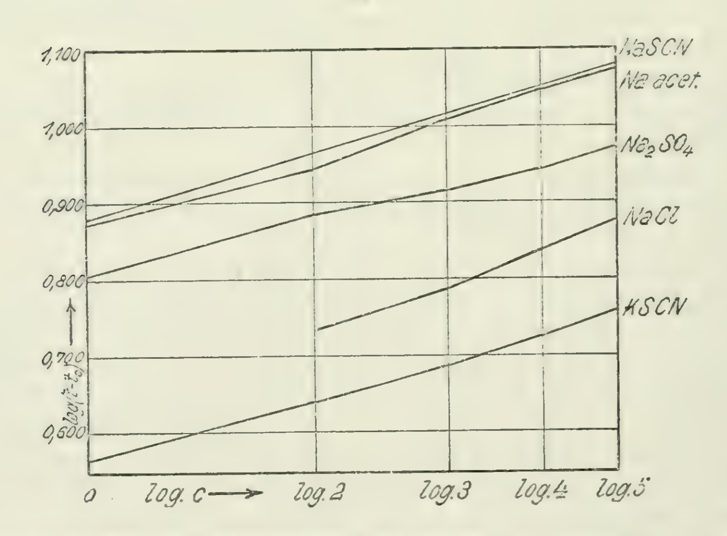


Fig. 84.



von Protein führenden adsorbierten Salzmengen nicht groß sind, meist zu klein, um mittelst der Elektrolytbestimmung den gebundenen Anteil desselben zuverlässig messen zu lassen.

Die Salzionenproteinverbindung ist reversibel, sie führt durch Verdünnen oder Beseitigung der Salze mittels Dialyse wieder zum unveränderten Ausgangseiweiß zurück. Daß es sich nicht um eine einfache mechanische Adsorption von Salz an der Grenzfläche der Eiweißpartikelchen handelt, sondern elektrochemische Beziehungen eine Rolle spielen, dafür sprechen neben Erfahrungen (s. u.) über Verhalten von Proteinen zu Säuren, Basen und amphoteren Elektrolyten auch Beobachtungen über die Festigkeit der Salzionenbindung aus Eiweiß. Wie schon hervorgehoben, müssen wir die Eiweißkörper als amphotere Stoffe betrachten von der Fähigkeit, sowohl mit positiven als auch negativen Ionen zu reagieren. Die chemische Grundlage für dieses Verhalten ist durch das Vorkommen reaktionsfähiger Aminogruppen neben der Karboxylgruppe im Proteinmolekül gegeben, von denen die erstere mit Säuren, die letztere mit Laugen nach Art einer Salzbildung reagiert. Bekanntlich zeigen nun Salze schwacher Säuren oder Basen die Eigenschaft, in verdünnter Lösung durch Reaktion der Salzionen mit den Ionen H und OH des Wassers merkliche Mengen freier Säure oder Base zu bilden, hydrolytisch zu dissoziieren. Die Größe dieser hydrolytischen Dissoziation wächst mit zunehmender Verdünnung und Temperatur der Lösung und mit abnehmender Stärke der das Salz bildenden Säure und Lauge. Da nun Eiweiß sowohl eine schwache Säure als auch Base vorstellt, so werden seine Salze einer beträchtlichen hydrolytischen Dissoziation unterliegen. Allein nachdem Eiweiß eine erheblich stärkere Säure als Base ist, so müssen seine Salze unter sonst gleichen Umständen schwächer hydrolytisch zerfallen, wenn es als Säure, als wenn es als Base funktioniert oder mit anderen Worten, Basen bzw. Metallionen werden vom Eiweiß fester gebunden als Säureionen. Denken wir uns also etwa ein Kochsalzeiweiß einer allmählichen Dialyse unterworfen, so werden die weniger fest gehaltenen Chlorionen leichter hydrolytisch getrennt und durch Diffusion entfernt werden als die Natriumionen und es wird vorerst ein Stadium entstehen, in dem die noch gebundenen Chlorionen neben den Natriumionen praktisch ganz zurücktreten. Ein solches Eiweiß ist in seiner Konstitution und in seinem Verhalten identisch mit einem Alkalieiweiß, wie es durch Zusatz von Natronlauge zu Serumalbumin entsteht und ist weder durch Hitze noch durch Alkohol koagulabel. Setzt man die Dialyse über dieses Stadium hinaus fort, so kommt es zur Abgabe von Alkali und schließlich liegt das genuine neutrale Eiweiß vor, das wiederum durch Hitze und Alkohol ausgeflockt wird.[28])

Der früher beschriebene Einfluß von Salzionen auf die Hitzegerinnung läßt sich sehr gut mit Hilfe der Viskositätsbestimmung beobachten. Die durch Erwärmen bewirkte dauernde Viskositätsabnahme von neutralem Eiweiß wird durch anwesendes Neutralsalz gehemmt und diese Hemmung wird bei Temperaturen, die genügend tief unter der Gerinnungstemperatur liegen, eine vollständige, wie folgendes Versuchsbeispiel von *Handovsky*[22]) zeigt:

Tabelle I.

Serumalbumin koaguliert bei 50° C, $t_{wasser} = 598 \frac{\text{Sekunden}}{5}$.

	Durchströmungszeit t bei 25°	bei 37°	bei 40°	t der wieder auf 25° abgekühlten Lösung
Halbverdünntes Serum	694	533	—	682
	694	—	511	Fällung
Dasselbe + 0·5 n-NaSCN	689	—	511	689

Bei höheren Temperaturen wird die Hemmung der Denaturierung durch Salz immer undeutlicher und schließlich, wie schon beschrieben, nunmehr als Erhöhung des Koagulationspunktes erkennbar.

Aus sämtlichen bisher angeführten Beobachtungen ergibt sich, daß die durch Erwärmen oder Alkohol bewirkten irreversiblen Zustandsänderungen von neutralem Eiweiß durch anwesendes Salz infolge Bildung von Salzeiweißverbindungen mehr oder minder gehemmt werden. Das Salzeiweiß erweist sich gegenüber dem reinen genuinen Eiweiß in Lösung als die stabilere Form. Das Globulin, welches in Wasser ausflockt und als Salzeiweißverbindung in Lösung beständig ist, erscheint damit nur als ein extremer Spezialfall des allgemeinen Verhaltens von Salzproteinen und es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, daß das elektrolytfrei dargestellte Globulin der Biochemiker von dem nativen des Tierkörpers durch eine erlittene irreversible Zustandsänderung bereits wesentlich verschieden ist. Überhaupt sind strenge genommen am reinen neutralen Eiweiß nur irreversible Zustandsänderungen bekannt.

Vielfach wird die Bildung von irreversiblen Eiweißkomplexen als eine Anlagerung von Eiweißmolekülen gedacht, wobei die sauren und basischen Gruppen wechselseitig in Verbindung treten. Gewiß sind so gebildete Komplexe größer und könnten instabiler sein als die ursprünglichen, allein die Irreversibilität bleibt unerklärt, da nicht einzusehen ist, warum die salzartige Proteinverbindung nicht hydrolytisch zerlegbar, also reversibel sein sollte. Es muß offenbar zur Komplexbildung eine molekulare Umwandlung in eine chemisch stabilere Form von neuen physikalisch-chemischen Eigenschaften hinzukommen. Vielleicht besteht hier eine gewisse Ähnlichkeit mit den Veränderungen mancher frisch gefällten Metallhydroxyde, die in diesem Stadium einen mehr lyophilen Charakter aufweisen. Mit der Zeit neigen sie zum Übergange in wasserärmere, mehr suspensoide Modifikationen, eine Umwandlung, die durch Erwärmen häufig beschleunigt werden kann.

Die Kenntnis der Salzioneneiweißverbindungen eröffnet auch ein besseres Verständnis der für den Physiologen besonders interessanten Löslichkeitsbeeinflussung von Salzen durch Eiweißkörper. Die in einer Eiweißlösung erzielbare Sättigung an einem Salz wird sich allgemein aus zwei

Faktoren zusammensetzen: Aus der vom freien Lösungsmittel (Wasser) aufgenommenen Salzmenge und aus der vom Eiweiß durch Adsorption gebundenen. Gegenüber dem gleichen Volum Wasser wird in einer Eiweißlösung für das Salz eine geringere Menge Lösungsmittel zur Verfügung stehen, weil in dieser ein bestimmter Raumteil Wasser durch Eiweiß ersetzt ist, das übrigens auch durch seine Hydratation eine gewisse Wassermenge bindet. Dadurch wird eine von der Eiweißkonzentration abhängige Reduktion des Lösungsmittels, also eine Verminderung der gelösten Salzmenge resultieren, die einige Prozente der Wasserlöslichkeit ausmacht. Andrerseits wird durch Salzbindung an Eiweiß Salz aufgenommen werden können, also ein die Löslichkeit steigerndes Moment resultieren. Das Endergebnis wird eine Verminderung oder Vermehrung der Löslichkeit durch das anwesende Eiweiß sein, je nachdem der erste oder zweite Faktor das Übergewicht hat.

In leicht löslichen Salzen bilden einige Prozente des zur Sättigung in Wasser notwendigen Salzes schon eine erhebliche Menge, neben welcher die durch Adsorption aus Eiweiß gebundene nahezu verschwindet, so daß die Löslichkeit hier vermindert wird. Dagegen überwiegt bei schwer löslichen Elektrolyten die vom Protein adsorbierte Salzmenge mit abnehmender Wasserlöslichkeit schließlich bedeutend über die prozentische Verminderung durch Reduktion des Lösungsmittel, deren absoluter Wert unter die Grenze des analytisch Nachweisbaren sinken kann. Das Resultat ist eine Löslichkeitserhöhung.

Diese Verhältnisse wurden von *Pauli* und *Samec* [29]) in einer Reihe von Versuchen klargelegt. So fand sich für die Chloride des Ammonium oder Magnesium in 2%igem Serumalbumin eine Löslichkeitsverminderung von 2—3%, in 4%iger Gelatine von 3—5%.

Dagegen zeigten, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich, schwer ösliche Kalksalze eine unter Umständen ganz enorme Löslichkeitssteigerung.

Tabelle II.

Substanz	Löslichkeit bei 25° C, Gramm in 100 g			Prozentische Löslichkeitssteigerung im Albumin
	Wasser	1% Serumalbumin	1·5% Gelatine	
$CaSO_4$	0·223	0·226	0·295	1·35
$Ca_3(PO_4)_2$	0·011	0·021	0·018	90·9
$CaCO_3$	0·004	0·023	0·015	475·0

Nach den Ausführungen dieses Kapitels dürfen wir alle Zustandsänderungen von Eiweiß bei Gegenwart von Neutralsalz als Zustandsänderungen von Salzeiweiß betrachten. Solche sind nun im Gegensatze zu denen von neutralem Eiweiß im allgemeinen mehr reversibel. Dies gilt beispielsweise vollkommen für geringgradige Erwär-

mung oder Einwirkung von stärker verdünntem Alkohol. Am weitesten geht diese Reversibilität bei der Salzfällung durch höhere (meist mehrfach normale) Konzentrationen von Salzen der Alkalien und Magnesium. Daß es sich bei dieser um eine Wirkung auf eine Salzeiweißverbindung handelt, ergibt sich schon aus deren Adsorptionscharakter, demgemäß die Salzbindung mit zunehmender Salzkonzentration nicht zerlegt, sondern wenn auch mit abnehmender Intensität gefestigt wird. Wenn also nach dem Gesagten die Neutralsalzfällung unter den Zustandsänderungen von Salzeiweiß keine prinzipielle Sonderstellung einnimmt, so haben die „Neutralsalzwirkungen" höherer Konzentration in vieler Hinsicht eine größere theoretische und praktische Bedeutung erlangt, die eine zusammenfassende Besprechung der hierher gehörigen Erscheinungen rechtfertigt.

III. Neutralsalzwirkungen auf Eiweiß.

Konzentriertere Lösungen von Neutralsalzen zeigen eine Reihe von gesetzmäßigen Beeinflussungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Mediums, die häufig als Neutralsalzwirkungen sensu strictiori bezeichnet werden. In dieses Gebiet von Salzwirkungen gehört auch die reversible Salzfällung von Eiweiß. Für diese Salzfällung der Proteine gelten als allgemeine Gesetze:

I. Das Gefällte ist eine reversible Verbindung von Salz mit Eiweiß.

II. Die Fällung durch hohen Salzgehalt beruht auf einer Veränderung des Lösungsmittels. (Lyotrope Wirkung *H. Freundlich.*[1])

III. Diese Vorgänge sind von einer sekundären, jedoch mit so geringer Geschwindigkeit fortschreitenden Denaturierung der Koagulate überlagert, daß sie die praktische Gewinnung von genuinem Eiweiß mit dieser Methode nicht hindert.

Nach dem schon oben Erörterten bedarf es hier nur einer näheren Ausführung des zweiten Satzes.

Die moderne systematische Untersuchung der Salzeiweißfällung beginnt mit den Arbeiten *Franz Hofmeisters*[30]), der die Fällungskonzentrationen einer Reihe von Salzen an verschiedenen Kolloiden, Eiereiweiß, Serum, Gelatine, Fischleim, Eisenhydroxyd, feststellte. Er fand, daß die Konzentration der kolloiden Substanz einen geringen Einfluß auf die Fällungsgrenze übt, und zwar mit ihrer Zunahme ein Herabdrücken derselben bewirkt, und daß eine relativ mäßige Überschreitung der Fällungskonzentration zu einer raschen Steigerung der abgeschiedenen Menge bis zu ihrer praktischen Vollständigkeit führt. Ferner ergab sich, daß verschiedene Eiweißkörper genügend weit auseinanderliegende Fällungswerte für dasselbe Salz aufweisen, um darauf ihre Charakterisierung oder Isolierung zu gründen. Auf diese Weise wurde von *J. Pohl* eine Methode zur scharfen Trennung von Albumin und Globulin, von *E. P. Pick* u. a. ein Verfahren zur Fraktionierung der zahlreichen Albumosen, die beim Eiweißabbau entstehen, ausgearbeitet.

Außerdem stellte *Hofmeister* den wichtigen Satz fest, daß die nach den Säuren geordnete Reihenfolge des Fällungsvermögens von Neutralsalzen für jedes Metall die gleiche ist und umgekehrt. Die Reihenfolge lautet für die Säuren nach abnehmender Ausflockung:
Sulfat, Citrat, Tartrat, Phosphat, Acetat, Chlorid, Nitrat, Bromid, Jodid und für die Metalle: Li, Na, K, NH_4, Mg.

Die gleichen Salzreihen kehrten bei den verschiedenen untersuchten Kolloiden wieder.

Unter Anwendung der Ionentheorie wurden dann diese Befunde wesentlich ergänzt (*Pauli* [32]) durch Untersuchungen übersättigter Lösungen und durch das Studium des kombinierten Einflusses von eiweißfällenden und nicht fällenden Salzen. Es zeigte sich, daß ein Mangel an Löslichkeit nicht die Ursache des Ausbleibens der Fällung bei gewissen Salzen sei und daß selbst Salze existieren, die die Fällung durch andere mehr oder weniger verhindern. Ordnete man die Salze nach ihren Ionen in der Reihe ihres Fällungsvermögens, so fand sich am Eieralbumin das folgende Bild.

Tabelle III.
n. u. = nicht untersucht.
— = fällt nicht.

Kationen zunehmende Fällung → / Anionen abnehmend ↓	Mg	NH_4	K	Na	Li
Fluorid	n. u.	+	+	+	n. u.
Sulfat	+	+	+	+	+
Phosphat	n. u.	+	+	+	n. u.
Citrat	n. u.	+	+	+	n. u.
Tartrat	n. u.	+	+	+	n. u.
Acetat	—	—	+	+	n. u.
Chlorid	—	—	+	+	+
Nitrat	—	—	—	+	+
Chlorat	n. u.	—	—	+	n. u.
Bromid	—	—	—	—	+
Jodid	n. u.	—	—	—	n. u.
Rhodanid	—	—	—	—	n. u.

Der additive Charakter der Ionenwirkung ergibt sich daraus, daß (Tab. III) für jedes Anion die Reihe der Kationen, für jedes Kation die gleiche Ordnung der Anionen wiederkehrt. Das Auftreten eines Hemmungsvermögens für die Eiweißausflockung, z. B. von Jodiden und Rhodaniden, die Möglichkeit, daß ein Ion in der einen Kombination als fällend, in der anderen als hemmend erscheint, daß sowohl die fällende als auch die fällungshindernde Wirkung mit der Konzentration wächst, wird am leichtesten verständlich durch die Hypothese einer antagonistischen Ionenwirkung. Danach würden die Ionen eines Vorzeichens fällend, die des entgegengesetzten lösend wirken und die Gesamtwirkung eines Salzes in der Hauptsache einer algebraischen Summierung seiner Ioneneffekte entspre-

chen. Ob diese Ionenabhängigkeit eine unmittelbare oder durch die Eigenschaften der von ihnen gebildeten Neutralteilchen vermittelte ist, würde eine Frage für sich bilden. Manche Analogien aus dem Verhältnisse von Eiweiß zu Säuren und Laugen sprechen in dem Sinne, daß die Säureionen Träger des fällenden Einflusses sind.

Die Frage, ob der Angriffspunkt für die fällende Salzwirkung im Protein oder im Lösungsmittel zu suchen, also ein lyotroper *(H. Freundlich)* ist, darf als im letzteren Sinne entschieden angesehen werden. Es hat sich nämlich gezeigt, daß bei gewissen physikalischen Eigenschaften des Wassers, wie Oberflächenspannung, Zähigkeit, Zusammendrückbarkeit, durch Salzzusatz mit der gleichen Ionenordnung geändert werden, die sich bei der Neutralsalzfällung von Eiweiß findet. Ferner kehrt die gleiche Ionenreihe bei der Salzwirkung auf die Wasserlöslichkeit verschiedener Gase und organischer Stoffe wieder. *Rothmund* [33]), der die Löslichkeitsbeeinflussung von Phenylthiocarbamid durch Salze genau untersucht hat, formuliert unabhängig von den früheren Arbeiten *Hofmeisters* und *Paulis* das Ergebnis seiner Untersuchung ganz übereinstimmend mit diesen. Auch ein Analogon zu den fällungshemmenden findet sich in die Löslichkeit erhöhenden Salzen, wie Ammoniumnitrat.

Über den Mechanismus der Salzfällung von Eiweiß sind vor allem Versuche von *K. Spiro* [20]) ausgeführt worden, welcher durch Analyse von Wasser-, Salz- und Eiweißgehalt in der Flockung und der Außenflüssigkeit einen näheren Einblick in die Natur des Vorganges erhoffte. Daß man bei der Salzproteinfällung zu zwei scharf trennbaren Phasen leicht gelangen kann, zeigten zuerst Beobachtungen am Leim, bei dem durch Salzfällung (z. B. Ammonsulfat) bei 37° C ein vollständiges Zusammenfließen des abgeschiedenen Niederschlages und so eine strenge Schichtung in eine schwerere, leimreiche, salzärmere und eine darüber befindliche leimarme salzreichere Partie erfolgt (*Pauli* und *Rona* [31]). In den Versuchen *Spiros* sind Analysen an solchen gut getrennten Phasen von Leim und Kasein ausgeführt worden. Die folgende Tabelle IV enthält einen solchen Versuch.

Leider sind Versuche dieser Art, so wertvolle Einzelheiten durch dieselben hervortreten, zu weiter reichenden Schlußfolgerungen nicht verwertbar, solange nicht die Grundlagen für eine exakte Berechnung der auf Niederschlag und Lösung verteilten Substanzen vollständig gegeben sind. So ist es unzweifelhaft, daß ein nicht genau bekannter Teil des Wassers als Hydratwasser der Leimteilchen funktioniert und dem Salz nicht als Lösungsmittel zur Verfügung steht. Dann würde die Differenz im Salzgehalte der zwei Phasen nur eine scheinbare sein können, wofür anderweitige Beobachtungen, z. B. an Quellungsvorgängen in Salzlösungen (s. u.), sprechen.

Mit Sicherheit läßt sich über die Eiweißfällung durch konzentrierte Neutralsalze nur aussagen, daß es dabei zur Abscheidung einer Salzeiweißverbindung infolge einer Konstitutionsänderung des wässerigen Lösungsmittels kommt, deren Natur trotz zahlreicher Hypothesen über die Kon-

Tabelle IV.

Herstellung		Wasser-Prozent	Salzkonzentration in I zur Salzkonzentration in II	Auf 100 g Wasser kommen g Leim	Leimkonzentration in I zur Leimkonzentration in II
18 cm^3 Leimlösung + 6 cm^3 Na_2SO_4-Lösung	Wässerige Schicht I Leimschicht II	83·4 64·4	1·496 1	3·96 44·61	1 11·28
18 cm^3 Leimlösung + 9 cm^3 Na_2SO_4-Lösung	Wässerige Schicht I Leimschicht II	81·2 51·4	1·883 1	1·05 83·81	1 80·06
18 cm^3 Leimlösung + 12 cm^3 Na_2SO_4-Lösung	Wässerige Schicht I Leimschicht II	78·19 53·47	2·071 1	0·32 73·86	1 231

stitution des Wassers noch dunkel ist, und daß diese Konstitutionsänderung bei der Löslichkeitsbeeinflussung der verschiedensten Stoffe durch Salze im Wesen die gleiche sein dürfte.

Diese Auffassung kann sich auch auf die Erfahrungen stützen, welche über den Einfluß der Reaktion des Mediums auf die Ionenfolge ebenso bei der Salzeiweißfällung wie bei verschiedenen Katalysen im wässerigen Lösungsmittel vorliegen. Es zeigt sich nämlich, daß bei schwach saurer Reaktion die Reihenfolge der Anionen bei der Eiweißfällung durch Neutralsalze genau umgekehrt wird, also Rhodanid am stärksten, Sulfat am schwächsten fällt (*Posternak*[34], *Pauli*[35]), und eine ähnliche Umkehr der Anionen findet sich für die basische und saure Esterverseifung in Anwesenheit von Neutralsalz (*Spohr*, *Arrhenius*). Eine entsprechende Umkehr der Ordnung konnte endlich *Höber*[36]) für die Kationenwirkung auf die Esterverseifung beim Übergange von saurer zur alkalischen Reaktion nachweisen.

Weiter hat sich herausgestellt, daß die Neutralsalze in höheren, aber noch unter der Fällungsgrenze gelegenen Konzentrationen auch andere kolloide Zustandsänderungen von Eiweiß in charakteristischer Weise beeinflussen, wobei ähnliche Ionenreihen unverkennbar sind. So hemmen Rhodanide und Jodide in höheren Konzentrationen die Ausflockung durch Kochen vollständig, zum Unterschiede von Citrat, Oxalat und Fluorid, welche die Hitzegerinnung stark begünstigen (*Pauli* und *Handovsky*[27]). Ähnliche Hemmungen treten bei hohem Rhodanid- oder Jodidgehalt für die Alkoholfällung zutage (*Pauli* und *Brüll*[18]). Daß bei diesen Hemmungen in erster Reihe die Flockenbildung betroffen ist, während die Denaturierung trotz der Klarheit der Lösung stattgefunden hat, zeigt die Dialyse der gekochten Lösung, bei welcher das Eiweiß mit Entfernung des Salzes vollständig koaguliert.

IV. Ionische Eiweißsole.

Lösungen, in denen das Eiweiß ausschließlich in ionischer Form enthalten ist, sind ebensowenig herstellbar wie Salzlösungen, welche nicht neben den Ionen elektrisch neutrale Teilchen enthalten. Wie aber die Eigenschaften stark verdünnter Elektrolyte im wesentlichen die Eigenschaften ihrer Ionen sind, so gibt es Eiweißlösungen, deren eigenartiges Verhalten allein den vorhandenen Eiweißionen zugeschrieben werden muß. Sind aus solchen Fällen die Merkmale der Eiweißionen erkannt worden, dann steht auch der physikalisch-chemischen Analyse von Proteinsolen nichts mehr im Wege, die neben den Ionen in variierendem Verhältnis elektrisch neutrale Teilchen enthalten. Die neben ionischem Eiweiß gebildeten elektrisch neutralen Partikeln sind meist von den bisher betrachteten verschieden. Während diese den neutralen Molekülen einer Aminosäure entsprachen, würden jene einem einfachen oder komplexen Salz einer Aminosäure analog zu setzen sein. Dennoch bleiben die von uns aufgestellten allgemeinen Charaktere eines neutralen Eiweiß auch hier zu Recht, nämlich Abscheidbarkeit aus der Lösung durch Verdrängung, Koagulierbarkeit mittelst Hitze und Alkohol, Neigung zur irreversiblen Umlagerung und relativ geringere Hydratation.

Den einfachsten Weg zur Herstellung von Eiweißionen bildet ein Zusatz von Alkali oder Säure (über die Konzentration des isoelektrischen Punktes) zu einem elektrolytfreien Protein. In einer solchen Lösung verschwindet ein Teil der zugesetzten H- oder OH-Ionen. Das Verschwinden dieser bestleitenden Ionen wird erkennbar durch eine bedeutende Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit (*Sjöqvist*[37]) oder kann durch eine Methode zur quantitativen Bestimmung von H- oder OH-Ionen gemessen werden. Am genauesten geschieht dies durch die elektrometrische Ermittlung der H-Ionenkonzentration mittelst Gasketten, die zum ersten Male für unseren Fall von *Bugarsky* und *Liebermann*[38]) in Anwendung gebracht wurden. Der folgende Versuch mit einem gereinigten Eieralbumin erläutert die Bindungsverhältnisse von H- und Cl-Ionen, welche mittelst geeigneter Ketten bestimmt wurden.

Tabelle V.
Albumin + 0·05 n-HCl.

Gramm Eiweiß zu 100 cm^3 Lösung	Prozente gebundener	
	H-Ionen	Cl-Ionen
0·4	9	10·7
0·8	18·9	20·2
1·6	33·3	38·00
3·2	60·2	64·00
6·4	96·56	76·00

Die elektrische Ladung von Eiweiß durch geringen Säure- oder Alkalizusatz kann unmittelbar mittelst der Elektrophorese beobachtet wer-

den. Während eine sorgfältig von Elektrolyten befreite Eiweißlösung im elektrischen Felde nur in Spuren wandert, wird durch Säure oder Lauge ein starker Transport von Eiweiß zum negativen oder positiven Pol hervorgerufen. Verbindet man drei Bechergläser mit den Lösungen durch Heber und taucht in die äußeren die Pole eines Stromes, so läßt sich z. B. mittelst Stickstoffbestimmung die Verschiebung im Eiweißgehalt leicht konstatieren.

Auf diese Weise fand sich[32])

Tabelle VI.

Serumalbumine + 0·01 n-HCl			Serumalbumine + 0·01 n-NaOH		
Anode	Mitte	Kathode	Anode	Mitte	Kathode
7·4	8·05	9·1	8·8	7·6	7·2
7·45	8·05	9·05	8·8	8·0	7·35

Mit dieser durch die elektrische Überführung angezeigten Eiweißladung geht ein ganz gewaltiger Anstieg der inneren Reibung einher (*Laqueur* und *Sackur*[14]) am Kasein, *Hardy*[15]) am Globulin, *Pauli* und *Handorsky*[49]) am Serumalbumin). So wurden die folgenden Reibungswerte an 1% Albumin beobachtet, dessen Viskosität schon durch $\frac{n}{10000}$ Säure oder Alkali nachweisbar erhöht wird.

Tabelle VII.

Konzentration	0·00	0·01	0·02	0·03
HCl	1·062	1·233	1·277	—
NaOH	1·097	1·177	1·260	1·352

Ferner wird die Hitze- und Alkoholkoagulation von Eiweiß durch Säure oder Lauge gehemmt. Diese Hemmung war für das obige Eiweiß schon bei 0·0005 n-Lauge deutlich, bei 0·003 n-Natronlauge oder Salzsäure komplett.

Die Wanderungsgeschwindigkeit wurde zuerst von *Hardy*[15]) direkt am Globulinion gemessen. Sie betrug bei 18° C zirka 7 bis 11 . 10^{-5}. Zum Vergleiche seien die ungefähren Geschwindigkeiten folgender Ionen daneben gestellt: H 318, OH 174, Cl 65·9, Na 44·4 × 10^{-5}.

Eine Frage von prinzipieller Wichtigkeit ist die nach der Reversibilität der Säure- und Laugeneiweißbildung. Daß bei höherer Temperatur oder nach langen Zeiträumen das Eiweiß — durch Alkali leichter als durch Säure — irreversibel verändert wird, ist eine der geläufigsten Erfahrungen der Eiweißchemie. Die Produkte werden Acidalbumin und Alkalialbuminat genannt. Hingegen gelingt es ohne weiteres, die bei niederen Temperaturen gehaltenen Säure- und Laugeneiweißmischungen — bei geringen Zusätzen —

durch Dialyse wieder in die ursprünglichen Komponenten zu zerlegen und ebenso fand *Flecker*[4]), daß c. p. die gleichen Reibungswerte innerhalb der Fehlergrenzen erhalten werden unabhängig davon, ob die Konzentration durch Verdünnung stärkerer Säureeiweißlösungen oder direkt hergestellt wird. Die Veränderungen, welche Laugen- und Säureeiweiß durch starkes Erwärmen erfahren, werden von der Viskositätsbestimmung schon bei mäßiger Temperaturerhöhung durch einen zeitlichen Anstieg der Reibung angezeigt (*C. Schorr*[41]).

Da die im Säure- und Laugeneiweiß gebildeten ionischen und neutralen Teilchen trotz ihrer allgemeinen Übereinstimmung bemerkenswerte Verschiedenheiten im einzelnen darbieten, sollen sie im folgenden getrennt behandelt werden.

V. Säureeiweiß.

Unter den Methoden, die Bildung von Eiweißionen quantitativ zu überblicken, steht zurzeit die Viskositätsmessung an erster Stelle. *Laqueur* und *Sackur*[14]) haben es zuerst durch ihre Untersuchungen am Kasein wahrscheinlich gemacht, daß die Kaseinionen die Träger der großen Zähigkeit einer Alkalikaseinatlösung sind. Zu einem vollständigen Überblick eignen sich weit besser Versuche an dem wasserlöslichen Albumin.[10]) Zunächst erscheinen die Verhältnisse recht verwickelt, wie die folgenden Daten am Salzsäureeiweiß erkennen lassen.

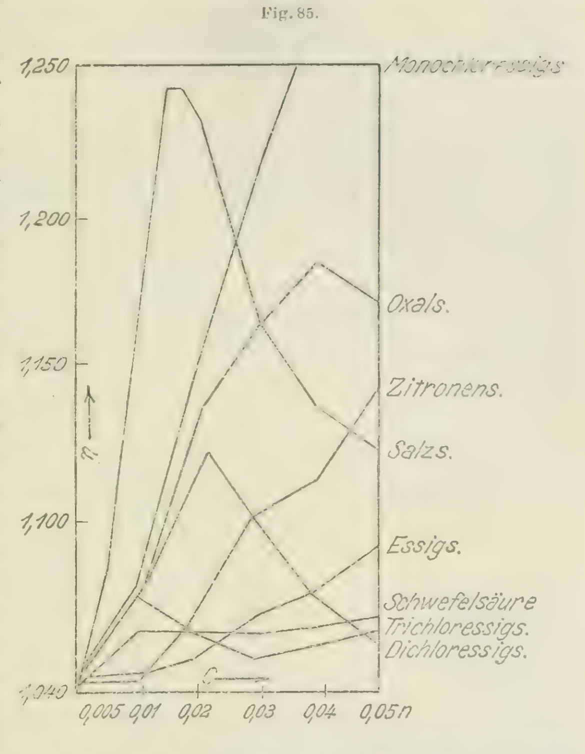
Tabelle VIII.

Salzsäurekonzentration . . .	0·0 n	0·005	0·01	0·012	0·017	0·02	0·03	0·04	0·05
Reibungskoeffizient	1·0623	1·2555	1·233	1·274	1·2937	1·2770	1·224	1·1822	1·1667

Die Zähigkeit steigt hier erst bis zu einem hohen Maximum an und fällt dann mit fortschreitender Säurezugabe ab. Die Theorie dieser analog am Kaseinat beobachteten Erscheinung gaben *Laqueur* und *Sackur* und sie hat sich bei der späteren Analyse bewährt, trotzdem die ursprünglichen Versuche zu ihrer Begründung sich als nicht beweisend herausgestellt haben. Wenn wir Eiweiß mit Säure versetzen, so bildet sich ein Eiweißsalz mit Eiweiß als Kation. Dieses Salz wird um so stärker hydrolytisch, also in seine Base und Säure dissoziieren, je schwächer diese beiden sind. Nach dem Massenwirkungsgesetz wird nun ein Überschuß der einen oder anderen Komponente die hydrolytische Dissoziation zurückdrängen und damit die Eiweißionenzahl vermehren. Zunächst wird also fortgesetzte Säurezugabe die Eiweißreibung stetig erhöhen. Andrerseits lehrt die theoretisch vollkommen aufgeklärte Erfahrung, daß der Zusatz eines Elektrolyten zu einem zweiten mit gemeinsamen Ion, z. B. Salzsäure zu Kochsalz, dessen Ionisation stark zurückdrängt, also die neutralen Salzteilchen vermehrt. Sind

einmal durch Zurückdrängung der Hydrolyse fast nur Eiweißionen neben den Chlorionen vorhanden (Reibungsmaximum), so wird weiterer Salzsäurezusatz die Ionisation des Eiweißchlorids vermindern unter Bildung neutraler Eiweißsalzteilchen (Abfall der Reibungskurve). Die Lage des Maximums, Anstieg und Sinken der Reibungskurve sind jedoch, wie sich herausgestellt hat, bei den Eiweißsalzen verschiedener Säuren ganz different, und zwar hängt diese Verschiedenheit nicht immer mit der Stärke der Säuren zusammen, wie dies etwa bei Essig- und Salzsäure den Anschein hat. So liefern die sehr starke Trichloressigsäure und die um ein geringes schwächere Schwefelsäure wenig Eiweißionen und viele Neutralteilchen. Daraus resultiert eine große Variabilität der Reibungskurven verschiedener Säurealbumine (Fig. 85) und, wie gleich hinzugefügt sei, eine ganz parallele Verschiedenheit in ihrem sonstigen physikalisch-chemischen Verhalten.

Fig. 85.



Von den Zustandsänderungen, die in dem vorliegenden Falle neben der Zähigkeit zum Studium der Relation ionisches zu neutralem Eiweiß herangezogen werden können, entfällt die Hitzekoagulation wegen der Acidalbuminbildung, ebenso ist die Ausfällung durch Neutralsalz zur Abgrenzung der Neutralteilchen nicht verwendbar, wegen einer besonderen Umsetzung zwischen Säureeiweiß und Neutralsalz (s. u.). Dagegen ist die Alkoholfällung eine sehr gute und durch die feine Abstufbarkeit der Alkoholkonzentration auch quantitative Methode zur Bestimmung des neutralen neben dem inkoagulablen ionischen Eiweiß. Auf diese Weise konnte *C. Schorr* [42]) zeigen, daß dem Reibungsmaximum stets ein Minimum von Alkoholfällbarkeit entspricht und, daß die an neutralen Komplexen reichen Eiweißsalze der Schwefel- und Trichloressigsäure auch durch viel verdünnteren Alkohol fällbar sind als die stärker ionisierten, etwa der Salz- oder Monochloressigsäure.

Die Beobachtung, daß in den meisten Fällen von einem gewissen Säuregrad an die Zahl der neutralen Eiweißteilchen wieder wächst, leitet

hinüber zu den Erscheinungen der irreversiblen Säurefällung von Eiweiß. Diese bildet bekanntlich eine vielgebrauchte typische Proteinreaktion und neuere Versuche (*Pauli* und *Wagner*[43]) gestatten auch eine gewisse Einsicht in ihre theoretischen Grundlagen. Zwei Umstände werden für die flockige Abscheidung von Eiweiß maßgebend sein: das Vorhandensein einer genügenden Zahl elektrisch neutraler Teilchen und der Verlust ihres lyophilen Charakters. Denn nur unelektrische Teile können bei den kolloiden wie bei den normalen Elektrolyten aus der Lösung treten und weiter muß die Aufhebung des lyophilen Charakters hinzukommen, da die so gut wie ausschließlich aus Neutralkomplexen bestehende Lösung reinsten Albumins oder Glutins selbst im isoelektrischen Punkt vollständig stabil ist. Der Säureüberschuß wird also nach dem Massenwirkungsgesetz zur Bildung von Neutralteilchen führen, die gleichzeitig unter Verlust ihres lyophilen Charakters eine Denaturierung erfahren. Wir kennen nun von den Beobachtungen über Viskosität und Alkoholfällung die Reihenfolge, in der die verschiedenen Säurealbumine sich nach der Neutralteilbildung ordnen (Fig. 85 für 0·05 n).

Die folgende Tabelle gibt nach *Pauli* und *Wagner* die zugehörigen Fällungsgrenzen:

Tabelle IX.

Säure	Normalität	H-Ionengehalt
	an der Fällungsgrenze	
CCl_3COOH	0·04	0·0356
CCl_2HCOOH	0·1	0·0981
H_2SO_4	0·2	0·1163
CH_3COOH	11·2	0·1411
HNO_3	0·2	0·1813
HCl	0·4	0·3517
$CClH_2COOH$	1·5	0·4108

Man sieht hier, die Essigsäure ausgenommen, eine parallele Ordnung der Reibungsabnahme (Fig. 85) und des Fällungsvermögens. Nur die Fällungswerte zu schwacher Säuren fallen heraus, weil hier die starke hydrolytische Dissoziation und eine lyotrope Wirkung zahlreicher undissoziierter Säuremoleküle die einfache Gesetzmäßigkeit stören. Jedenfalls ist der Parallelismus zwischen Neutralteilbildung und Säurefällbarkeit ein befriedigender, wenn man bedenkt, daß auch die irreversible Umwandlung bei den verschiedenen Säuren zu Produkten verschiedener Eigenschaften führt, wie schon deren sehr verschiedene Löslichkeit im Überschuß der Säure beweist. Es besteht also bis zu einem gewissen Grade eine Übereinstimmung zwischen Säureproteinfällung und der allerdings reversiblen Aussalzung durch einen Überschuß eines gemeinionigen Elektrolyten, etwa von Kochsalz durch Salzsäure.

Von anderen Eigenschaften, die sich vom neutralen zum ionischen Eiweiß sprunghaft ändern, ist von großem Interesse die optische Drehung,

welche nach *Pauli* und *Samec*[44]) beim ionischen weit höher ist als beim neutralen und eine analoge Ordnung der Säuren erkennen läßt wie die Viskosität. Ferner fand *Buglia*[45]) entsprechende Änderungen der Oberflächenspannung, deren näheres Studium noch aussteht.

Auch die bereits angeführte Druckbestimmung in einem passenden „Osmometer" gibt die Möglichkeit, das Vorhandensein ionischer Eiweißteilchen nachzuweisen.

R. Lillie[47]) hat in einer eingehenden Untersuchung gezeigt, daß Zusatz von Säure oder Alkali zu Leim- oder Albuminlösungen von einem beträchtlichen Druckanstieg im Osmometer gefolgt ist. Die nächste Tabelle bringt einige solche Daten, die an 1·5%iger Gelatinelösung gewonnen wurden:

Tabelle X.

HCl-Konzentration	Millimeter Hg	KOH-Konzentration	Millimeter Hg
0	8·2	0	7·9
$\frac{n}{2050}$	12·3	$\frac{n}{3100}$	14·1
$\frac{n}{1024}$	26·5	$\frac{n}{620}$	23·7
$\frac{n}{620}$	34·9	$\frac{n}{412}$	25·1
$\frac{n}{412}$	39·3	$\frac{n}{310}$	29·0

Es haben dann *Pauli* und *Handovsky* darauf hingewiesen, daß auch bei diesen Versuchen die Bildung von ionischem Eiweiß das wesentliche sei. Eine vollständig befriedigende Erklärung für diese Drucksteigerung steht noch aus, weil mit ihr übereinstimmende Messungen der molekularen Konzentration, z. B. mittelst anderer Methoden, nicht vorliegen, welche für einen echten osmotischen Druck im Sinne *van 't Hoffs* beweisend wären.

Daß eine so weitgehende Bindung von Lösungsmitteln bei der Bildung von ionischem Eiweiß erfolgt, welche die Lösung der Drucksteigerung nach auf das Fünffache eindicken müßte, darf schon nach den Gefrierpunktsbestimmungen ausgeschlossen werden. Sicher ist das Vorhandensein ionischen Eiweißes die Quelle der osmotischen Drucksteigerung, da die Rückbildung zu neutralen Teilchen den Druck wieder vermindert. *Pauli* und *Samec*[18]) zeigten, daß die Kurve der Steighöhen im Osmometer ein Abbild der Reibungskurven bildet. Die folgende Fig. 86*a* illustriert diese Verhältnisse und zugleich die Lage des isoelektrischen Punktes (Fig. 86*b*) bei einer Leimlösung von 35° C.

Eine vollständige Theorie dieser osmotischen Druckwirkung wird sich erst nach einem genaueren Studium der Assoziationsverhältnisse in ver-

schiedenen Eiweißlösungen geben lassen. Hier soll nur jene Vorstellung entwickelt werden, zu welcher wir über den Zustand des ionischen Proteins in der Lösung gelangt sind. Der lyophile Charakter eines Kolloides wird im wesentlichen darin bestehen, daß seine Teilchen durch eine Art von Quellung oder festere Umhüllung mit dem Lösungsmittel in innige Beziehung treten. Diese Vorstellung ist verwandt mit jener allgemeineren, die immer mehr Boden gewinnt, daß die Lösung irgend eines Stoffes mehr oder weniger mit einer Bildung von Solvaten (bei Wasser Hydraten) verbunden ist. Es sprechen nun neben unseren Beobachtungen auch Erfahrungen an anorganischen Stoffen und theoretische Gründe dafür, daß ionisches Eiweiß gegenüber dem neutralen durch einen gewaltigen Anstieg der Quellung oder Hydratation seiner Teilchen ausgezeichnet ist. Eine solche Hydratation der Teilchen erklärt uns die Unwirksamkeit dehydrierender Maßnahmen, also im Vereine mit den elektrostatischen Wirkungen der Ladung das Ausbleiben von Alkoholfällung und Hitzegerinnung, und ebenso die Vermehrung der Zähigkeit und die förmliche Aufquellung der Lösung im Osmometer, welche die Bildung geladener Proteinteilchen begleitet. Diese starke Hydratation der Eiweißteilchen ist keine Annahme ad hoc. Eine solche Hydratation ist längst bekannt bei Salzionen mit schwacher Haftintensität ihrer elektrischen Ladung (*Abegg* und *Bodländer*[46]), wie sie auch bei den Eiweißionen nach ihrem ganzen Verhalten vorausgesetzt werden darf. Solche schwache Ionen werden, wo es das Medium zuläßt, leicht in Neutralteilchen verwandelt, z. B. auf dem Wege der hydrolytischen Dissoziation oder werden durch Anlagerung neutraler Komplexe, wie der Wassermoleküle,

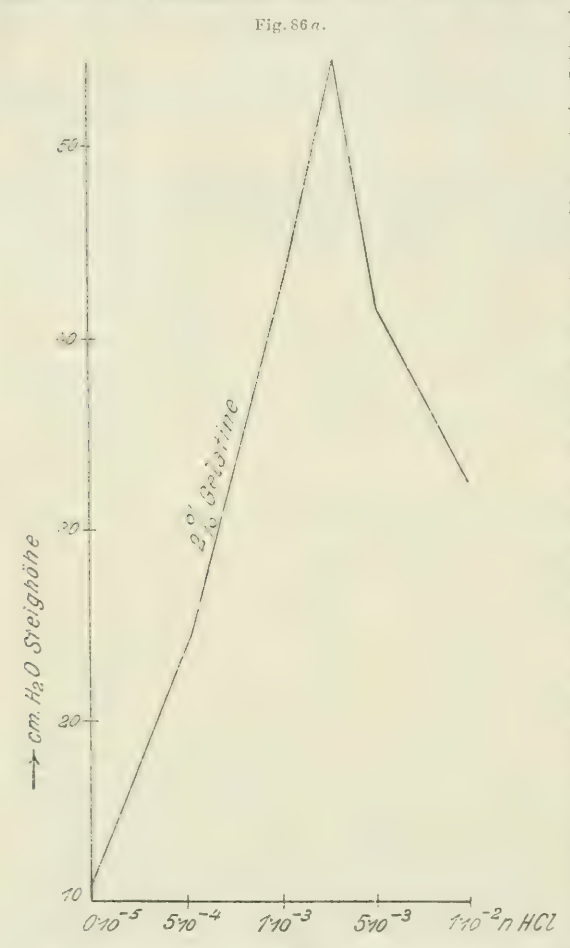
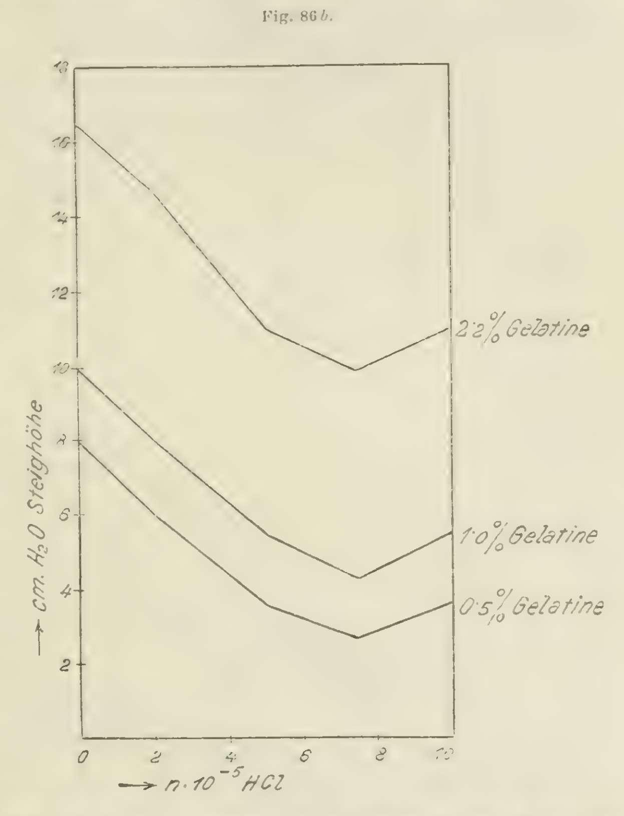


Fig. 86 a.

ihr Volumen vergrößern, weil ihre Ladung infolge der geringen elektrischen Dichte dann leichter festgehalten werden kann. Jede Rückbildung der Eiweißionen zu Neutralteilchen wird wiederum mit einer Dehydratation, also Abnahme der Reibung und des osmotischen Druckes und mit Wiederkoagulierbarkeit einhergehen.

Die hier entwickelte Anschauung über den Zusammenhang von Ionisation und Hydratation läßt sich ebenso beim Säureeiweiß wie beim Alkalieiweiß zugrundelegen, sie hat sich ferner bei den verwickelten Beziehungen von ionischem Eiweiß und Neutralsalz bewährt, so daß sie die bisherigen Beobachtungen am ionischen Eiweiß gut zu überblicken gestattet. Die Frage nach der speziellen Struktur der Eiweißionen, nach der chemischen Stabilität und nach der Reversibilität der gebildeten Komplexe bildet ein Problem für sich.

Fig. 86 *b*.



VI. Alkalieiweiß.

Beim Zusatze von Laugen zu Eiweiß werden elektronegative Proteinionen gebildet. Zum Unterschiede von dem stabileren Säureeiweiß ist das Alkalieiweiß schon in relativ geringen Laugenkonzentrationen bei mäßigen Temperaturen chemisch instabil. *C. Schorr* [41]) fand schon bei über 0·02 n-NaOH-Gehalt und 25° C eine zeitliche Zunahme der Hydratation, die sich mit dem Viskosimeter messend verfolgen ließ. Sie bildet eine Vorstufe des folgenden mit Reibungsabfall verbundenen Abbaues. Für verschiedene Laugen fand sich diese zeitliche Veränderung der Zähigkeit an einen mindesten OH-Gehalt gebunden, den *Handorsky* [22]) mit $8 \cdot 10^{-3}$ bestimmte. Es sind also der Untersuchung der Ionisation von Alkalieiweiß engere Grenzen gezogen als der von Säureeiweiß. Unsere ca. 1%ige Albu-

minlösung gerann bei 64° C. Eine merkliche Hemmung der Hitzegerinnung fand sich bei 0·0005 n-, eine vollständige bei 0·003 n-Natronlauge. Bei diesem Alkaligehalt blieb auch die Flockung durch 44% Äthylalkohol aus.

Einen sehr auffälligen Unterschied gegen das elektropositive Eiweiß zeigten die meisten Basenalbumine, indem hier die Stärke der Base in erster Linie den Anstieg der Reibungskurve, also Ionisation und hydrolytische Dissoziation des Eiweißsalzes bestimmte. Es verhält sich also das Eiweißanion im allgemeinen normaler als das Eiweißkation. Die Reibungskurven in der nebenstehenden Fig. 87 zeigen deutlich die Ordnung nach der Basenstärke der zugefügten Laugen.

Fig. 87.



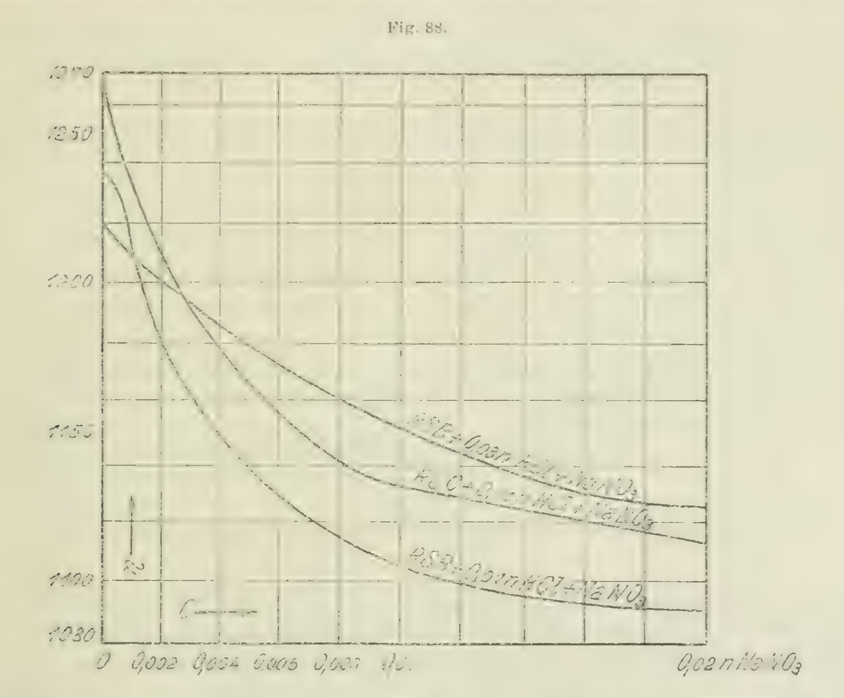
Eine gleiche Reihenfolge zeigte demgemäß auch die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit durch die Bindung der sehr beweglichen OH-Ionen, welche mit steigender Basenstärke wächst. Sehr schwache Basen lassen schließlich keine Änderung der Leitfähigkeit durch Eiweißzusatz erkennen. Auf elektrometrischem Wege haben zuerst *Bugarsky* und *Liebermann* das Verschwinden von OH-Ionen bei Eiweißzugabe nachgewiesen.

Daß es beim Albumin im Überschusse der Lauge wieder wie bei Säure zu einer Neutralteilbildung durch Ionisationszurückdrängung kommt,

konnte *Schorr*[12]) mittelst der Alkoholfällung nachweisen, die mit fortschreitendem Laugenzusatz durch ein Minimum geht, um dann wieder zu wachsen.

Schließlich führt, wie *Pauli* und *Wagner*[12]) zeigen konnten, auch ein sehr hoher Laugenüberschuß zu einer Löslichkeitsüberschreitung des Neutralproteins und zu ausgiebiger Fällung, die im Gegensatz zur Säurefällung bei Verdünnung reversibel ist. Hier ist demnach die Analogie mit einer Aussalzung durch einen gemeinionigen Elektrolyten eine weitergehende.

Fig. 88.



Zugleich wird, wie *Schorr* fand, im Überschuß von Lauge bei niederer Temperatur die zeitliche Eiweißänderung zunächst gehemmt.

Die Erscheinungen beim Zusammenbringen von ionischem Eiweiß und Neutralsalz sind überaus lehrreich und mannigfaltig und werden im folgenden getrennt abgehandelt.

VII. Säureeiweiß und Neutralsalz.

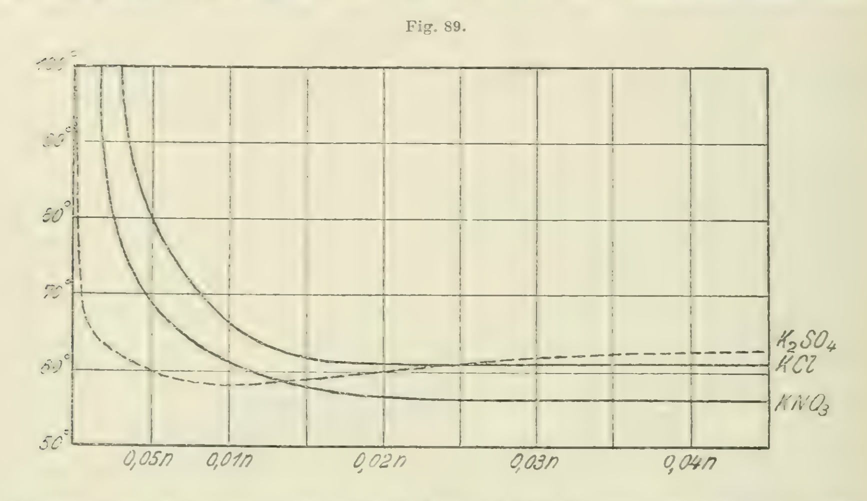
Durch Zugabe relativ kleiner Mengen von Neutralsalz zu Säureeiweiß kommt es zu einer Dehydratation der Teilchen. Die Reibung sinkt, der osmotische Druck fällt ab, Hitze- und Alkoholkoagulierbarkeit werden restituiert.

Die obige Zeichnung läßt zunächst die Einwirkung steigenden Salzgehaltes (Abszisse) auf die Reibungskoeffizienten (Ordinate) einer Säureeiweißlösung erkennen (Fig. 88).

Schon bei $\frac{n}{10000}$ Salz ist die Abnahme der Viskosität wahrnehmbar und diese Abnahme ist, wie die Form der Kurve zeigt, bei niederem Salzgehalt relativ bedeutender als bei hohem. Ferner fand sich, daß die Säureionen der zugesetzten Salze entsprechend den sonstigen Erfahrungen am Säureeiweiß für die Reibungsabnahme von Bedeutung sein können, dagegen kommt hier den verschiedenen Metallionen kein sicher unterscheidbarer Einfluß zu. Nichtelektrolyte sind ohne Effekt auf die Viskosität von Säureeiweiß.

Von großem Interesse sind die Verhältnisse bei der Hitzekoagulation, die von *Pauli* [19]) eingehend untersucht wurde. Die Wärmegerinnung einer

Fig. 89.



1% igen Serumalbuminlösung wird durch 0·003 n-Salzsäure vollständig aufgehoben. Zum Wiederauftreten einer merklichen Hitzegerinnung in 0·005 n-HCl genügten 0·02 n-Kaliumchlorid, 0·003 n-Sulfat, 0·002 n-Acetat. Bei höherem Säuregehalt wachsen zugleich die zur Wiederherstellung der Gerinnbarkeit nötigen Neutralsalzmengen. Die verschiedenen Kationen machen auch hier wenig Unterschied. Die Koagulationstemperatur wird bis zu einem gewissen Salzgehalt herabgesetzt, über den hinaus eine Steigerung der Salzkonzentration zunächst wenig ändert, wie das zugehörige Diagramm dartut (Fig. 89).

Salzzusatz zu an sich nicht fällenden höheren Säurekonzentrationen oder hoher Salzzusatz bei mäßigem Säuregrad bewirkt eine irreversible Ausflockung schon bei Zimmertemperatur. Hier erfolgt Neutralteilbildung und Löslichkeitsüberschreitung im Überschusse jedes der beteiligten Elektrolyte. Diese Ausflockung zeigt mit wachsender Temperatur alle Übergänge zur Hitzegerinnung von Säureeiweiß.

Die ganze Reihe der angeführten Erscheinungen spricht im Sinne der Dehydratation von Säureeiweiß durch zugesetztes Salz und es war nach den früheren Auseinandersetzungen wohl anzunehmen, daß diese De-

hydratation auf einer Entionisierung der geladenen Eiweißteilchen beruhe. Der Beweis für diese Auffassung wurde durch Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Säureeiweißmischungen erbracht, die stets eine relative Abnahme der ionischen Teilchen bei Salzzugabe erkennen lassen. In einem analogen Falle, am angesäuerten Weizengluten, haben dann *Hardy* und *Wood*[48]) ermittelt, daß durch Salzzusatz die vom elektrischen Strom transportierte Eiweißmenge herabgesetzt wird.

VIII. Alkalieiweiß und Neutralsalz.

Die Verhältnisse bei der kombinierten Wirkung von Lauge und Neutralsalz auf Eiweiß liegen in vielen Punkten übereinstimmend mit denen beim Säureeiweiß. Auch da wird durch den Salzzusatz Hitze- und Alkoholkoagulierbarkeit restituiert, die Viskosität und der Druck im Osmometer herabgesetzt und im Überschuß von Salz oder Alkali schließlich eine irreversible Fällung bei Zimmertemperatur erzeugt. Zum Unterschiede von den Beobachtungen am Säureeiweiß tritt jedoch hier die Rolle der Anionen des Salzes fast vollständig zurück gegenüber der der Kationen. Insbesondere zeigt sich ganz allgemein eine bedeutende Überlegenheit der Erdalkalisalze über die der Alkalimetalle in der Fähigkeit, das Laugeneiweiß im Sinne einer Dehydratation zu beeinflussen. Die folgenden Versuche[49]) orientieren über die Salzionenwirkung. Die + Zeichen bedeuten je nach der Zahl den Grad der Ausflockung, – bedeutet Hemmung und dient auch zur Abstufung der Flockungsgrade.

Tabelle XI.

Salzgehalt	Anionen			Salzgehalt	Kationen	
	Überall 0·003 n-NaOH				Überall 0·003 n-NaOH	
	0·05 n	0·1 n	0·15 n		0·01 n	0·05 n
KF	±+	±++	+++	KCl	–	±±
K_2SO_4 . . .	±±	++	+++	NaCl . . .	–	+±
KCl	±±	++	±++	LiCl	+	±±+
KNO_3 . . .	±±	++	±++	NH_4Cl . . .	±+	±++
KB_2	±±	++	±++	$MgCl_2$ . . .	+++	+++
KSCN . . .	+	++	++	$CaCl_2$ . . .	+++	+++
				S_2Cl_2 . . .	+++	+++

Es zeigt sich in diesen Versuchen eine Andeutung der bekannten Anionenreihe im Sinne einer geringgradigen Abschwächung der Hitzegerinnbarkeit von Fluorid zum Rhodanid. Von den Kationen wirken die einwertigen nahezu gleich bis auf das etwas stärkere Lithium, das in vielen Eigenschaften überhaupt den Erdalkalien nahesteht. Bei Ammonium kommt seine Fähigkeit, die Alkaleszenz herabzusetzen, zu der Salzwirkung hinzu. Die gleichen Unterschiede in der Beeinflussung der Hitzegerinnbarkeit

werden durch Bestimmungen der Koagulationstemperatur angezeigt. Ähnliche Verschiedenheiten der Kationen zeigt auch die Alkoholfällung an (Tab. XII). Eine Ausflockung, die von 0·1 n-KCl hervorgebracht wird, findet sich bereits bei 0·005 n-$CaCl_2$.

Tabelle XII.
Fällung bei 44% Alkoholgehalt nach 24 Stunden.
Überall 0·003 n-NaOH.

Salz	KCl	NH_4Cl	$MgCl_2$	$Ca(NO_3)_2$
0·001 n	—	±	++	++
0·002 n	±	+	±±+	±±+
0·005 n	+	++	+++	+++
0·01 n	++	±++	+++	+++
0·05 n	±++	+++		
0·1 n	+++	+++		
0·2 n	+++			

Parallele Verschiedenheiten läßt auch die Viskositätsbestimmung erkennen. Die Durchströmungszeit für dasselbe Reibungsröhrchen wird z. B. bei 0·03 n-Laugenkonzentration durch 0·01 n-NaCl von 796·5 auf 788, durch 0·01 n-$CaCl_2$ auf 727 herabgesetzt.

Stets konnte man durch Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit den Nachweis erbringen, daß der Salzzusatz mit einer Bildung von elektrisch neutralen Teilchen aus ionischen einhergeht und daß die Erdalkalisalze diese Umwandlung in weit erhöhtem Maße herbeiführen als die Alkalisalze.

Die Beziehungen von ionischem Eiweiß zu Neutralsalz lassen sich, wie dies zuerst von *Hardy* versucht wurde, auch aus der Aminosäurenstruktur der Proteine verstehen, wenn man die sekundären irreversiblen Prozesse von der ursprünglichen Reaktion trennt. Wäre $R\begin{matrix} \diagup NH_2\overset{+}{H} . \overset{-}{O}H \\ \diagdown CO\overset{-}{O} . \overset{+}{H} \end{matrix}$ das allgemeine Schema einer amphoteren Monoaminosäure, so würde eine Salzbildung mit Salzsäure nach der Formel (I) $R\begin{matrix} \diagup NH_2\overset{+}{H} . \overset{-}{Cl} \\ \diagdown COOH \end{matrix}$, mit Natronlauge nach (II) $R\begin{matrix} \diagup NH_3OH \\ \diagdown CO\overset{-}{O} . \overset{+}{Na} \end{matrix}$ möglich sein. Bei Neutralsalzzusatz zu I kann das Metallion des Salzes an Stelle des dissoziierbaren Wasserstoffs der Gruppe COO . H eintreten nach dem Schema

$$R\begin{matrix} \diagup NH_2 H . Cl \\ \\ \diagdown COOH \end{matrix} + KCl = R\begin{matrix} \diagup NH_2 H . \overset{-}{Cl} \\ \qquad + \\ \diagdown COO . \overset{}{K} \end{matrix} + HCl,$$

wobei es einerseits zu einer Säuerung in der Lösung und andrerseits zu einer Neutralteilbildung durch die Gegenwirkung des positiven Metall- und

negativen Säureions am Eiweißmolekül kommen wird. Eine solche Säuerung durch Salzzusatz haben *Hardy* am Globulin, *Pauli* und *Handovsky* am Albumin tatsächlich mittelst passender Indikatoren gefunden, doch bedarf diese Beobachtung noch einer genaueren Prüfung.

Etwas verschieden liegen die Dinge beim Alkalieiweiß. Hier kann nämlich das ganze zugesetzte Salz in das Laugeneiweiß eintreten, da sowohl ein H- als auch ein OH-Ion substituiert werden kann. Eine Reaktionsänderung ist demgemäß nicht zu erwarten und auch nicht zu finden gewesen.

$$R\begin{cases} NH_2\begin{cases} H \\ OH \end{cases} \\ COO\,.\,Na \end{cases} + KCl = R\begin{cases} NH_2\,KCl \\ COO\,Na \end{cases} + H_2O.$$

Diese Formelbilder geben nicht nur ein brauchbares Schema bei der Reaktion „Eiweißsalz + Neutralsalz", sondern sie zeigen auch die durch die Beobachtung erhärtete Verschiedenheit der bei Säure- und Alkalieiweiß mit einem Neutralsalz gebildeten Komplexe. Daß diese neutralen Komplexe im Überschuß von Salz oder Säure bzw. Lauge zur irreversiblen Umwandlung neigen, ist vorläufig noch nicht befriedigend aufgeklärt. Die in dieser Richtung vorliegenden Ansätze (*T. B. Robertson*) sind vorerst durchaus hypothetisch und zum Teil den Tatsachen widersprechend. Die Beziehungen von Säure- und Laugeneiweiß zu Neutralsalz, die Unterschiede von Alkali- und Erdalkaliionen sind von tiefer physiologischer Bedeutung.

IX. Eiweißkörper und amphotere Elektrolyte.

Die Kenntnis der Beziehungen von Eiweiß zu Säuren und Laugen ermöglicht auch ein Verständnis für die biologisch bedeutsamen Reaktionen der Eiweißkörper mit amphoteren Elektrolyten, Stoffen, die unter Umständen zugleich als Basen und Säuren reagieren können und zu denen, wie schon erwähnt, die Proteine selbst zählen. Wenn ein Protein neben sehr schwacher Base oder Säure von nicht zu hoher Konzentration in einer Lösung besteht, so kommt es in diesem Falle infolge der besonders starken hydrolytischen Dissoziation zu einer verschwindenden, mit unseren Methoden, Eiweißionen zu erkennen, endlich nicht mehr nachweisbaren Bindung an das Eiweiß. Diese Bindung wird jedoch trotz des schwachen Basen- und Säurecharakters der zugesetzten Substanz sofort möglich, sobald diese gleichzeitig als Base und Säure funktionieren kann und aus der einfachen eine doppelte Verkettung an das Eiweiß wird. Zugleich wird eine Ionisierung der neuen Eiweißkomplexe unmöglich sein und alle Folgen einer reichlichen Neutralteilbildung, wie Viskositätsabnahme und bei Löslichkeitsüberschreitung Ausflockung, werden nun eintreten. In der Tat konnte *Handovsky* [57]) ein solches Verhalten bei den Kombinationen von Eiweißkörpern und amphoteren Elektrolyten als typisch feststellen.

Auch die Frage, welches die günstigsten Bedingungen für die Bildung zyklischer Neutralteile von Eiweißkörpern mit amphoteren Elektrolyten sind, läßt sich beantworten. Die amphoteren Elektrolyte zeigen weit-

gehende Differenzen in ihrer Säure- (K_a) und Basenstärke (K_b), die von einander unabhängig variieren können. Sobald die Säure- oder Basenstärke eines Ampholyten ein gewisses Maß überragt, wird derselbe mit dem Protein nur als Säure oder nur als Base reagieren und ionisches Eiweiß bilden. Ein Beispiel dieser Art bildet die amphotere Asparaginsäure, deren K_a bei einem kleinen K_b die der Essigsäure übertrifft. Sie bewirkt eine bedeutende Erhöhung der Eiweißreibung. Bleiben wir jedoch innerhalb der eine Neutralteilbildung ermöglichenden Grenzen der Relation $\frac{K_a}{K_b}$, so findet sich eine verschiedene Bedeutung der K_a- und K_b-Werte des amphoteren Stoffes für seine Bindung an das Eiweiß. Unser Albumin ist eine wesentlich stärkere Säure als Base. Es wird demnach schwache Basen viel fester binden können als schwache Säuren. Innerhalb eines recht weiten Bereiches werden somit Unterschiede in der Basizität der amphoteren Substanz für ihre Bindung an das Eiweiß weniger belangvoll sein als Differenzen in der Säurestärke. Je höher die letztere, desto reichlicher ist die Bildung neutraler Komplexe und desto mehr wird die Viskosität herabgesetzt. Auch diese Gesetzmäßigkeit konnte durch den Versuch verifiziert werden. Schließlich sei noch erwähnt, daß zwischen der Bildung von Salzeiweiß und Ampholyteiweiß außer in der Viskositätsverminderung auch darin Übereinstimmung besteht, daß in beiden Fällen eine Hemmung der Hitzekoagulation zu konstatieren ist.

X. Eiweißkörper und Suspensoide.

In den Beziehungen der Eiweißkörper zu den Suspensionskolloiden, die gleichfalls erst durch die Kenntnis der Eigenschaften des ionischen Eiweißes besser zu übersehen sind, tritt die große Bedeutung des lyophilen und des amphoteren Charakters der ersteren sehr auffällig zutage, wodurch sich trotz mancher Übereinstimmung auch wesentliche Unterschiede gegenüber den Reaktionen von Suspensoiden untereinander ergeben. Für diese gelten als Hauptsätze:

I. Entgegengesetzt geladene Suspensoide flocken einander aus (*Neisser* und *Friedemann, W. Biltz*).

II. Diese Flockung findet bei einem bestimmten Mengenverhältnisse der beiden Suspensoide unter Neutralisierung der elektrischen Ladungen optimal statt und bleibt bei genügendem Überschuß einer der Komponenten aus (*W. Biltz, J. Billiter*). Die Mischung nimmt dabei die elektrische Ladung des im Übergewichte vorhandenen Kolloids an (*J. Billiter*).

Im Gegensatze zu den Suspensoiden ist Eiweiß sowohl durch positive als auch durch negative Kolloide fällbar (*Landsteiner, Friedemann*[50]). Dieses Verhalten wird aus der amphoteren Natur des Proteins verständlich, wodurch es befähigt ist, mit beiderlei Suspensoiden unter Entstehung großer instabiler Neutralkomplexe zu reagieren. Ferner zeigt sich, ähnlich wie bei der Wechselwirkung von Suspensoiden, eine optimale Fällung bei einem bestimmten Verhältnis von Suspensoid und Protein und eine Lös-

lichkeit im Überschuß der Komponenten. Zur Illustration dienen einige Versuche von *Friedemann.*

Tabelle XIII.

Kolloides Antimontrisulfid (negativ)			
Abfallende Eiweißmengen		3% Eieralbumin	
Eiweiß	Antimontrisulfid	Fällung	+ 3 Tropfen 10% NaCl
1	0·1 cm^3	+++	0
0·5		+++	0
0·25		+++	0
0·1		+++	0
0·05		+++	+++
0·025		+++	+++
0·01		+++	+++
0·005		+++	+++
0·0025		+++	+++
0·001		+	+++
0·0005		0	+++
0·00025		0	+++

Tabelle XIV.

Abfallende Antimontrisulfidmengen Eieralbumin ca. 5%			
Antimontrisulfid	Eiweiß	Fällung	2 Tropfen NaCl 1%
1	1 cm^3	+++	Trübung
0·5		+++	„
0·25		+++	0
0·1		+++	0
0·05		+++	0
0·025		+++	0
0·01		0	0
0·005		0	0
0·0025		0	0

Die Erklärung der Überschußwirkung ist hier nicht vollständig identisch mit der bei der Wechselreaktion von Suspensoiden. Wohl wird wie im letzteren Falle Überwiegen des Suspensoids auch bei der Reaktion Eiweiß-Kolloid durch elektrische Aufladung der Komplexe die Lösung stabilisieren können, allein umgekehrt kann nicht ein Überschuß von reinem Eiweiß, das vorwiegend aus ungeladenen Teilchen besteht, durch Aufladung der Kolloidaggregate stabilisierend wirken. Hier dürfte es sich eher darum handeln, daß das reichlich vorhandene Albumin seinen lyophilen Charakter und damit seine Lösungsstabilität auf die damit verbundenen Kolloidteilchen überträgt. Mit dieser Schutzwirkung gegen die Ausflockung Suspensoid-Protein kann auch ein Schutz des Suspensoids gegen zugesetzte Elektrolyte verbunden sein.

Bekanntlich bildet die hohe Fällungsgrenze gegen Neutralsalze einen markanten Unterschied im Verhalten von Eiweißstoffen und Suspensoiden. So genügen von einer Kochsalzlösung einige Millimole (das Molekulargewicht in Milligrammen) im Liter, um ein Metallsol auszufällen, während erst etwa 35—40 Grammole eine Eiweißabscheidung herbeiführen. Auch diese relative Unempfindlichkeit gegen Elektrolyte wird mit dem Eiweiß auf eine Suspensoideiweißmischung übertragen. Die Schutzwirkung von Eiweiß kann somit eine doppelte sein: durch Übertragung seiner eigenen Lösungsstabilität und seiner Stabilität gegen Elektrolyte. Die letztere *(Lottermoser, Zsigmondy, Paal)* hat nicht nur eine technische Bedeutung für die Herstellung haltbarer hochkonzentrierter Suspensoide, sondern auch

durch ihre quantitative Auswertung (*Zsigmondys* Goldzahl) Wichtigkeit für die Charakterisierung verschiedener Proteine erlangt.

Wir können jedoch den Versuchen von *Friedemann* noch eine interessante Schutzwirkung entnehmen, die von Elektrolyten gegen die wechselseitige Ausflockung von Eiweiß und Suspensoid ausgeübt wird. Es hat sich nämlich gezeigt, daß Salzzusatz in der optimalen Flockungszone von Eiweiß und Suspensoid die Flockung hemmt (Tab. XIII). Diese Erscheinung dürfen wir uns nach den zahlreichen früher mitgeteilten Erfahrungen so erklären, daß durch die Bildung von Salzioneneiweiß die Reaktions- und Assoziationsfähigkeit der neutralen Eiweißteilchen gehindert wird, ganz analog etwa dem Verhalten bei der Hitze- und Alkoholkoagulation oder bei gewissen chemischen Reaktionen wie mit Formaldehyd (*T. Sollmann*[51], *Schryver*[52]).

Als ein besonderer Fall kann schließlich die Ausflockung der an sich stabilen Mischung von überschüssigem Suspensoid mit Eiweiß durch Salzzusatz angesehen werden. Hier handelt es sich um geladene Eiweißkolloidkomplexe, die durch Salzzusatz neutralisiert werden, ganz analog dem Verhalten von Alkali- oder Säureeiweiß gegen Neutralsalz, nur sind die hier gebildeten Komplexe groß genug, um schon bei geringem Salzgehalt auszufallen. Das Ergebnis der Kombination von Suspensoideiweiß mit Neutralsalz wird also sein, daß der optimalen Koagulation bei reiner Kolloidreaktion eine Hemmung durch Salzzusatz und der Fällungsbehinderung im Überschusse des Suspensoids eine Ausflockung durch Neutralsalz entsprechen kann. Dieser Antagonismus ist an den wiedergegebenen Versuchen *Friedemanns* gut zu erkennen. Manche Einzelheiten auf dem Gebiete der Kolloideiweißfällung bilden den Gegenstand einer weiteren Untersuchung, doch werfen schon unsere bisherigen Kenntnisse und die hier daraus gezogenen Folgerungen einiges Licht auf die komplizierten Vorgänge bei der Eiweißfällung durch Salze der Schwermetalle.

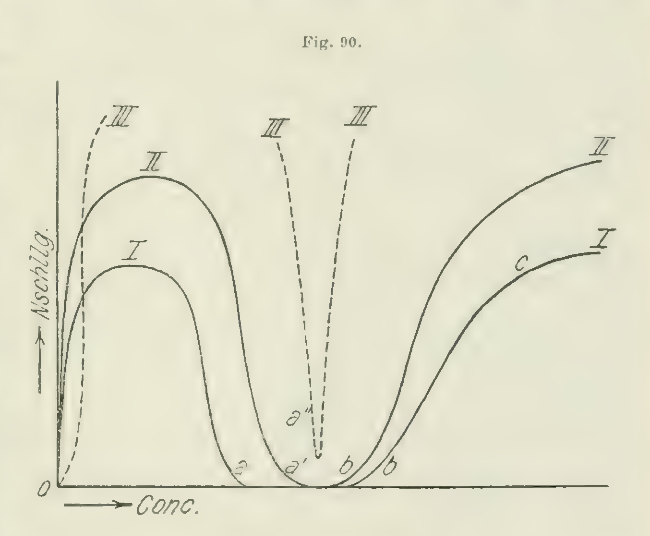
XI. Schwermetalleiweißfällung.

Die Fällung der Eiweißkörper durch Schwermetallsalze ist von der durch Neutralsalze der Alkalien (und Erdalkalien) gänzlich verschieden. Vor allem ist hier die Fällungsgrenze auffallend niedrig und bewegt sich ähnlich der von Suspensoiden in Millimolen pro Liter. Ferner ist die Flockung bei Verdünnung irreversibel, dagegen im Überschusse von Eiweiß oder Schwermetallsalz oder beider reversibel. Außerdem tritt die Bedeutung der Anionen für die Fällung stark zurück neben der der Kationen, wobei jedoch Unterschiede der Wertigkeit der Kationen nicht ausschlaggebend sind. Die Fällungskonzentrationen für das einwertige Silber-, zweiwertige Kupfer-, dreiwertige Ferrion sind von nahe der gleichen Größenordnung. Schließlich rückt die Fällungsgrenze für Schwermetalle mit wachsendem Albumingehalte hinauf, bei den Neutralsalzen der Alkalimetalle ist es umgekehrt.

Zum besseren Verständnis der hier waltenden komplizierten Zusammenhänge empfiehlt es sich, die Proteinänderungen in verdünnten Schwermetallsalzlösungen von denen in konzentrierteren strenge zu trennen. Es kommt nämlich in sehr dünnen Lösungen zu einer bei Verdünnung irreversiblen Eiweißflockung, die meist bei steigendem Salzgehalt wieder zurückgeht und an diese Zone kann sich dann ein neuerliches Fällungsgebiet bei fortgesetzter Erhöhung der Salzkonzentration anschließen, in dem der Niederschlag bei Verdünnung in Lösung geht (*Pauli* [9]). Sehr vollständig zeigt sich diese Folge von Zustandsänderungen am Zinksulfat. Die folgende schematische Zeichnung diene zur Veranschaulichung (Fig. 90). Kurve *I I* zeigt die Fällung bei niederem, *II II* bei höherem Eiweißgehalt, *III III* bei Neutralsalzanwesenheit.

Sämtlichen Schwermetallsalzen ist gemeinsam, daß sie in sehr verdünnten Lösungen stark hydrolytisch dissoziieren in die freie Säure und das mehr oder minder fein zerteilte Metallhydroxyd. Wir dürfen nun nach den Erfahrungen über Kolloideiweißreaktionen die in stark verdünnten Lösungen der Schwermetallsalze auftretende Fällung auf das vorhandene kolloide Metallhydroxyd beziehen. Daraus würde sich die niedere Fällungsgrenze, die Löslichkeit im Überschuß der Komponenten, die Irreversibilität bei Verdünnung der Mischung, wodurch die hydrolytische Dissoziation des Salzes nur vermehrt wird, leicht verstehen lassen. Doch bedarf die Rolle der neben dem Metallhydroxyd vorhandenen freien Säure der Aufklärung. Da diese mit Eiweiß als Kation reagiert, während das elektropositive Metallhydroxyd mit anionischem Eiweiß in Bindung tritt, muß sich eine Gegenwirkung ergeben. Es zeigt sich auch tatsächlich im allgemeinen, daß eine schwächere Säure die eiweißfällende Wirkung der Schwermetallsalze sehr begünstigt und die Überlegenheit vieler Acetate der Schwermetalle über die betreffenden Chloride als Eiweißkoagulatoren ist den Biochemikern wohl bekannt. Der wesentliche Faktor für das Überwiegen des Metallhydroxyds über die vorhandene, das Protein positiv aufladende und der

Fig. 90.



Reaktion mit dem Metallhydroxyd entgegenwirkende Säure bei der Fällung durch Schwermetallsalz dürfte jedoch im Eiweiß selbst gelegen sein. Wie wiederholt betont wurde, ist Albumin eine stärkere Säure als Base und es werden deshalb seine Verbindungen mit Basen weniger leicht hydrolytisch zerlegt als seine Verbindungen mit Säuren. So ergibt sich die festere Bindung des Metallhydroxyds neben freier Säure als eine Konsequenz der für unser Protein typischen Relation $K_a > K_b$.

Versetzt man eine Eiweißfällung etwa durch Zink- oder Kupfersalz mit einem Überschuß von dem Schwermetallsalz, so geht sie wieder in Lösung. Die Erklärung dieses Phänomens ist noch nicht ganz sicher. Für Eieralbumin fand *Pauli* diese Klärung innerhalb 0·5—4 n-Zinksulfat, somit in Konzentrationen, die relativ wenig hydrolytisch dissoziieren, und es ist deshalb wahrscheinlich, daß die Aufhebung der Flockung gemäß einer Annahme *Hardys*[15]) mit der Bildung eines neuen komplexen Zinkhydroxydprotein + Zinksulfat zusammenhängt, so wie etwa Halogensilberniederschläge im Überschuß von Halogensalz in Lösung gehen können. Durchsichtiger liegen die Dinge bei der Fällung in sehr hohen Konzentrationen, wie sie vor allem Sulfate darbieten. Die Höhe der Fällungsgrenze, die Reversibilität beim Verdünnen weisen unmittelbar darauf hin, daß hier ein Analogon der typischen Neutralsalzwirkung vorliegt.

Von besonderem Interesse ist das Verhalten von Schwermetallproteinflockungen in Anwesenheit von Neutralsalz. Ganz wie bei der optimalen Suspensoideiweißfällung wirken sämtliche Neutralsalze auf die Eiweißkoagulation durch verdünnte Schwermetallverbindungen hemmend. Dagegen treten Neutralsalze in dem Bereiche der Schwermetallsalzkonzentrationen, in welchem der Niederschlag wahrscheinlich als komplexes elektropositives Eiweißion in Lösung geht, als Fällungsverstärker auf, und zwar in derselben Anionenreihe wie beim gleichfalls positiven Säureeiweiß. Die bei der Schwermetallproteinflockung auftretende Denaturierung von Eiweiß ist in ihrem Wesen unaufgeklärt. Es bedarf nach dem Gesagten nicht erst der Begründung, daß bei der Abhängigkeit der Schwermetalleiweißniederschläge von der Salzkonzentration die Gewinnung von streng stöchiometrischen Verbindungen in Form von Schwermetallproteinen, die manche Forscher in Händen zu haben glaubten, ausgeschlossen ist. *Galeotti*[53]) hat dies durch fortlaufende Analysen von solchen Eiweißniederschlägen eingehend bewiesen.

B. Eiweißgallerten.

I.

Gallerten können durch Erstarren eines Sols oder durch Quellung — Eintritt von Flüssigkeit in die trockene Substanz unter Beibehaltung ihres festen Aggregatzustandes — gewonnen werden. Von der Quellung

ist die kapilläre Imbibition, die Aufnahme von Flüssigkeit in ein präformiertes Gerüst mit Hohlräumen unter Verdrängung ihres gasförmigen oder flüssigen Inhaltes streng zu sondern. Die auf die Gewichtseinheit der Trockensubstanz entfallende Wassermenge wird als Quellungsgrad bezeichnet. Mit Beibehaltung des festen Aggregatzustandes kann unter gegebenen Bedingungen (Temperatur, Druck) nur eine begrenzte Wassermenge aufgenommen werden, das Quellungsmaximum. Von den Eiweißkörpern zeigt die Leimsubstanz, das Glutin, die Merkmale einer Gallerte am typischesten. Es sind auch die meisten Untersuchungen an Gelatine, allerdings von verschiedener Reinheit, ausgeführt worden. Diese ist durch einen starken Einfluß der Temperatur auf den Aggregatzustand ausgezeichnet, sie schmilzt bei Wärmezufuhr, erstarrt beim Abkühlen, wobei infolge einer beträchtlichen Trägheit der Zustandsänderung Schmelz- und Erstarrpunkt selbst um einige Grade auseinanderliegen können. Beim Übergange vom flüssigen in den festen Zustand zeigen Gallerten keine sprunghaften, sondern stetige Änderungen ihrer mechanischen (Verschiebungselastizität, Viskosität) und optischen Eigenschaften (Brechungsexponent). Im ultramikroskopischen Bilde zeigen sich neben einem Nebel Submikronen, die mit der Abkühlung schon bei flüssigem Aggregatzustande der Gelatine ständig an Zahl wachsen, ohne beim Erstarren der Gallerte eine besondere strukturelle Anordnung einzunehmen (*Menz*[3]). Die Verdampfungsgeschwindigkeit nimmt mit abnehmendem Quellungsgrade anfangs nur wenig, gegen Ende rapid ab, als Ausdruck der stark zunehmenden Wasserbindung mit steigender Gallertkonzentration. Dünne Gallerten verändern Diffusions- und Reaktionsgeschwindigkeit darin gelöster Stoffe nicht merklich gegenüber dem reinen Quellungsmittel, dagegen tritt in konzentrierten Gallerten eine ganz bedeutende Hemmung für eine darin vor sich gehende Diffusion oder chemische Reaktionen ein (*K. Meyer*, *Bechhold*).

Läßt man Gallertscheiben in Wasser quellen, so zeigt sich die Quellungsgeschwindigkeit $\frac{dQ}{dt}$ einer Materialkonstante und der Entfernung des jeweiligen Quellungsgrades vom Quellungsmaximum (M—Q) direkt und der Scheibendicke d umgekehrt proportional. Nach dieser Formel konnte *Pauli*[54]) die Resultate *Hofmeisters*[55]), von dem auch hier die ersten quantitativen Versuche stammen, befriedigend rechnen. Sie läßt sich auch so ausdrücken, daß die Quellungsgeschwindigkeit der jeweiligen noch wasserbindungsfähigen Masse proportional ist. Dann liegt die Gleichung einer monomolekularen Reaktion vor. Temperatursteigerung beschleunigt und erhöht die Quellung durch Herabsetzung des elastischen Widerstandes in der gelockerten Gallerte und durch Verminderung der Zähigkeit des Quellungsmittels.

Mit der Quellung ist eine Abnahme des Gesamtvolumens von Quellungsmittel und quellender Substanz verbunden und dementsprechend eine relative

Zunahme der Dichte. Diese Tatsache hat bereits ihr Entdecker *H. Quinke*[56]) als Ausdruck einer festen Wasserbindung in der Gallerte angesehen. Die Kraft, mit der die Quellungsflüssigkeit verdichtet und festgehalten wird, ist eine ganz enorme. Um von Laminaria. die etwa ihr Gewicht an Wasser aufgenommen hatte, dasselbe wieder abzupressen, mußte *Naegeli* 200 Atmosphären aufwenden. *Rodewald*[57]) berechnete aus einer thermodynamischen Untersuchung der Stärkequellung den mittleren Druck, unter welchem Wasser in der gequollenen Stärke steht, mit 2137 Atmosphären. Wir berechneten als unteren Grenzwert für das Wasser in 50% Gelatine 1960, für 10%ige 786 Atmosphären. Die Quellung ist stets ein exothermischer Prozeß, dessen Wärmeentwicklung zuerst von *Wiedemann* und *Lüdeking*[58]) mit 6 Grammkalorien pro Gramm Gelatine bestimmt wurde. Diese Versuche wären mit reinerem Material zu wiederholen. In jüngster Zeit hat *J. R. Katz*[59]) zeigen können, daß der Gang der Quellungswärme mit dem Gange der Mischungswärme gewisser Stoffe, wie Schwefelsäure oder Glycerin, mit Wasser gut übereinstimmt. Ebenso besteht eine Analogie im Dampfdruck solcher Mischungen mit dem Dampfdruck von Gallerten.

Quellung und Entquellung sind, bei niederen Temperaturen vorgenommen, praktisch reversible Prozesse. Bei höherer Temperatur wird die Reversibilität durch eine begleitende Peptisation des Glutins getrübt. Bei der Entquellung von kantigen Formen (Würfel, Zylinder) kommt es zu einer rascheren Erstarrung an den dünneren Kanten und zur Bildung eigentümlicher Schrumpfungsgestalten, welche namentlich bei dünnen Gallerten den *Plateau*schen Oberflächenfiguren sehr ähnlich sind. Da eine eintrocknende, mit Alkohol behandelte Gallertmasse außen schnell starr und unnachgiebig wird, aber in ihrer Gänze für Dampf durchgängig bleibt, so müssen in ihrem Innern, infolge der Unmöglichkeit zusammenzusinken, Spalten und schließlich feinste Kammern entstehen, die eine regelmäßige Struktur aufweisen können und mit Luft gefüllt sind (*Bütschli*[60]). Irgend einen Beweis für eine Präexistenz dieser Struktur (s. u.) kann diese Erscheinung nicht abgeben.

Die Quellung in Wasserdampf ist von der im Wasser ebenso verschieden, wie die Hygroskopizität und Löslichkeit einer Substanz nicht einfach übereinstimmen *(Pauli)*. *Schroeder* fand auch, daß maximale Quellung in Dampf niemals zu dem für Wasser geltenden Quellungsmaximum führt und daß umgekehrt maximal in Wasser gequollene Gallerte im dampfgesättigten Raum reichlich Wasser abgibt.

II. Gallerten und Elektrolyte.

Auch die Eiweißgallerten sind befähigt, mit Salzionen unter Bildung von Ioneneiweißverbindungen zu reagieren, deren Adsorptionscharakter von *W. Bayliss*[61]) nachgewiesen wurde. Wahrscheinlich gehen schon unter dem

Einflusse sehr geringer Salzkonzentrationen Veränderungen im Quellungsvermögen vor sich (*Wo. Ostwald* [62]), die im einzelnen an sehr reinem Material noch zu studieren sind. Die Neutralsalzwirkungen höherer Konzentrationen auf Leimgallerten sind vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen.

Hofmeister fand mittelst Untersuchung der Quellung für mittlere Konzentrationen eine Gruppierung der Salze in fördernde und hemmende, verglichen mit der Aufnahme von reinem Wasser. Die Reihe war nach steigendem Quellungsvermögen: Sulfat, Tartrat, Citrat, Acetat (Wasser), Chlorid, Chlorat, Nitrat, Bromid.

Pauli [54]) ging von der Annahme aus, daß die Salze die Wasserbindung in Gallerten ändern dürften und daß diese Änderungen zu Verschiebungen der Erstarrungstemperatur Anlaß geben könnten. Der Versuch ergab einen ganz gewaltigen Einfluß von Salzen auf die Gelatiniertemperatur, die selbst innerhalb 36° C verschoben werden kann. Die Gruppierung der Salze war für 10% Gelatine die gleiche, wie sie von *Hofmeister* bei der Quellung gefunden worden war. Jodid und Rhodanid schließen die Reihe ab. Die gleiche Reihe fand *v. Schroeder* [63]), der als Maß für die Erstarrfähigkeit die zeitliche Zunahme der Viskosität vor dem Erstarrpunkt benützte und *Levites*, der dasselbe Ziel mittelst Messung der Erstarrungszeit verfolgte. Der Quellungsvermehrung entspricht zugleich eine Steigerung, der Behinderung eine Abnahme der Löslichkeit von Glutin in der betreffenden Salzlösung (*Pauli, Levites*). In erster Linie muß auch für die Neutralsalzwirkung auf Gallerten ein lyotroper Einfluß angenommen werden. Doch spielt neben der Veränderung des Lösungsmittels zugleich eine direkt an den Leimteilchen angreifende Salzwirkung mit. Dadurch kommt es trotz der gleichen Anionenreihe für die Gelatinierung und Leimfällung zu gewissen Unterschieden beider Zustandsänderungen. So fällen wohl alle die Gelatinierung begünstigenden Elektrolyte in höheren Konzentrationen das Glutin, allein das Chlorid, welches das Glutin gleichfalls fällt, hat ein starkes Hemmungsvermögen für die Erstarrung. Eine gewisse Unabhängigkeit von Leimflockung und Erstarrung zeigt sich weiter darin, daß die Flockung sowohl in fester als auch in verflüssigter Gallerte zu beobachten ist. Nur tritt die Temperatur als wesentlicher Faktor zum Unterschiede von den typischen Eiweißfällungen in dem Sinne auf, daß bei passender Wahl der Salzkonzentrationen die Fällungen in der Wärme zurückgehen und in der Kälte wieder auftreten. Dieses Verhalten ist nur ein Ausdruck für die praktische Reversibilität der Leimniederschläge, während beim Eiweiß sekundäre Denaturierungsvorgänge, die von der Temperatursteigerung gefördert werden, die Löslichkeitsverschiebungen überlagern. Es kann jedoch der Fall auch beim Eiweiß eintreten, daß die denaturierten Produkte in ihren Löslichkeitsbedingungen die gleiche Temperaturabhängigkeit zeigen wie Leimniederschläge. Ein solches Beispiel wurde bei der Salzfällung von Säureeiweiß festgestellt, welche bei geeigneten Konzentrationen in der Hitze

zurückgeht und sich beim Abkühlen wieder bildet (*Pauli* [19]). Das gleiche für das sogenannte *Bence-Jones*sche Harneiweiß typische Verhalten würde nur einen besonderen Fall dieser Art darstellen und ist eine bei verschiedenen Proteinen weiter verbreitete Erscheinung, als meist angenommen wird.

Eine sehr weitgehende Analogie besteht in den Beziehungen von Eiweißsolen und Eiweißgallerten gegen Säuren und Laugen. In Anwendung der für die Eiweißlösungen bewährten Vorstellungen gilt auch hier der Satz, daß die Umwandlung von neutralen in ionische Teilchen mit einer gewaltigen Hydratation oder Quellungsvermehrung der Gallerten einhergeht. Schon der Umstand, daß alle am ionischen Eiweiß aufgefundenen Änderungen, wie Viskositätsanstieg, Hemmung der Koagulierbarkeit durch Hitze und Alkohol, auch am Leimsol zu finden sind und daß der Übergang von Sol zur Gallerte ein stetiger ist, spricht für ein prinzipiell vom Sol nicht verschiedenes Verhalten der ionischen Eiweißgallerten. *Spiro* [64]) und *Wo. Ostwald* [65]) konnten schon vor längerer Zeit tatsächlich einen mächtigen Quellungsanstieg von Leimgallerten durch kleine Mengen Säure oder Alkali nachweisen und *R. Chiari* [66]) fand kürzlich eine hochgradige Empfindlichkeit besonders sorgfältig gereinigter Gelatine selbst gegen minimale Spuren Säure oder Lauge. So betrug bei einem OH-Ionengehalt von $1{\cdot}7 \, . \, 10^{-6}$ der Quellungszuwachs 11·45 pro Gramm Trockensubstanz und es gelang selbst den Kohlensäuregehalt des destillierten Wassers durch die Steigerung des Quellungsgrades einer bereits in reinstem sogenannten Leitfähigkeitswasser maximal gequollenen Gelatine nachzuweisen. Ferner konnte die Vermehrung der Neutralteilchen bei den ersten geringen Säurezusätzen im sogenannten isoelektrischen Punkt (s. o.) durch eine entsprechende Quellungsabnahme dargetan werden. Auf diesem Wege wurde der mittlere Quotient $\frac{K_a}{K^b}$ für Gelatinegallerte von *R. Chiari* mit $5{\cdot}6 \, . \, 10^4$ ermittelt.

Auch die im Sinne einer Dehydratation erfolgende Wirkung von Neutralsalz auf Säure- und Laugeneiweiß kehrt bei den Gallerten wieder. *M. H. Fischer* [67]) und *Prokter* [68]) fanden Schrumpfung von ionischer Gelatine durch Salzzugabe und *Pauli* und *Handovsky* konnten am Laugenglutin die überlegene entquellende Wirkung von Erdalkali- im Vergleiche mit Alkalisalz beobachten. So ergab ein Versuch mit einem 0·0025 n-NaOH-Glutin durch die gleiche Konzentration Baryumchlorid eine Entquellung von 46·1%, während Kaliumchlorid nur eine solche von 24·46% bewirkte. Es gibt also keinen Unterschied zwischen Gallerten und Eiweißsolen in der Hydratation durch Bildung ionischer Eiweißteilchen und eine Theorie des gallertigen Zustandes wird immer nur vor die Frage gestellt sein, worin es begründet ist, daß in dem einen Falle die Proteinteilchen frei beweglich bleiben, während sie in dem anderen im festen Aggregatzustand, also in stabilen Mittellagen verbunden sind.

III. Theorie des gallertigen Zustandes.

Auf diesem auch für die Auffassung des Zustandes der lebendigen Substanz wichtigen Gebiete stehen sich zwei Ansichten scharf gegenüber. Nach der einen vor allem von *Bütschli* vertretenen besteht eine Gallerte aus einem mikroskopischen festen Gerüste, in dessen Kammern eine dünne Lösung der Gerüstsubstanz festgehalten ist. Gegen diese Theorie lassen sich eine Reihe schwerwiegender Bedenken vorbringen, die hier nochmals zusammengefaßt werden sollen, weil die *Bütschli*sche Lehre bei den Physikochemikern und Biologen viele Anhänger gefunden hat und geradezu als die herrschende bezeichnet werden darf.

Den Ausgangspunkt der einschlägigen Untersuchungen *Bütschlis* bildeten Beobachtungen an mikroskopisch feinen Schäumen von Gelatine und Olivenöl, die bei geeigneter Herstellungsweise ein aus erstarrten Leimwänden bestehendes Gerüstwerk liefern, in dessen Kammern oder Waben das flüssige Öl eingeschlossen ist. Nach dem gleichen Prinzipe fand dieser Forscher auch jene Strukturen aufgebaut, welche sich durch typische Gerinnungen von Kolloiden gewinnen lassen. Dünne Eiweißschichten, durch Hitze oder die als Fixierungsflüssigkeiten bekannten Fällungsmittel zur Gerinnung gebracht, mit Alkohol niedergeschlagene Gummilösungen, gefällte peptonisierte Gelatine — sie alle zeigen unter dem Mikroskope dasselbe charakteristische Bild feinwabiger Anordnung.

Im weiteren Verlaufe seiner Studien gelangte *Bütschli* auch bei Stoffen im Zustande der Quellung zu dem Resultate, daß hier gleichfalls eine Wabenstruktur identisch mit jener von Gerinnungsschäumen und bei typischer Koagulation vorhanden sei, welche jedoch nur unter gewissen Versuchsbedingungen deutlich werde. Die nähere Betrachtung der Umstände, welche zum Sichtbarwerden dieser Wabenstruktur führen, lehrt unseres Erachtens, daß es sich hier regelmäßig um die Einleitung echter Gerinnungs- oder Entmischungsvorgänge handelt, nicht um eine präformierte Gallertstruktur. Die meisten Versuche beziehen sich auf die starre Gelatine. Wiewohl es an dieser weder durch direkte Beobachtung, noch durch eine Färbung trotz der oft hochgradigen Anreicherung von Farbstoffen im Leim möglich ist, eine Wabenstruktur in unpräparierten Gallerten zu entdecken, führt *Bütschli* eine Reihe von Gründen für eine solche an.

Nach der Ansicht dieses Autors läge die Ursache, weshalb es nicht möglich ist, in nativer Gelatine die Gerüstwände zu entdecken, zum Teil darin, daß dieselben nachgiebig sind und sich beispielsweise beim Trocknen im Vakuum fest aneinanderlegen, zum Teil darin, daß der Unterschied im Brechungsexponenten von Kammerinhalt und Wand zu gering ist, um zu deutlichen Bildern zu führen. Hingegen lassen sich durch verschiedene Mittel, wie Einwirken von Chromsäure, Alkohol, Äther, die Wände der

Waben starrer und dichter machen, so daß nunmehr der optische Nachweis leichter gelingt, ebenso wie die Gaserfüllung des festen Wabengerüstes, kenntlich an der kreideweißen undurchsichtigen Beschaffenheit einer solchen Gelatine nach dem Trocknen im Vakuum. Man kann sich jederzeit leicht davon überzeugen, daß eine nach den Angaben *Bütschlis* mit schwacher Chromsäure behandelte dünne Leimschichte weiß und trübe wird und unter dem Mikroskope eine sehr gleichmäßige, feinkammerige Struktur zeigt, völlig identisch mit dem Bilde echter Gerinnungen von Kolloiden. *Bütschli* nimmt dennoch keine solchen, sondern das Hervortreten einer präformierten Struktur an. Als Grund dafür wird angegeben, daß beispielsweise durch Alkohol erzeugte Gallertstrukturen in Wasser wieder verschwinden, um genau in derselben Beschaffenheit bei neuerlicher Alkoholeinwirkung wieder hervorzutreten. Die Erklärung dieser genauen Reproduzierbarkeit einer einmal erzeugten Struktur liegt in der nicht vollständigen Umkehrbarkeit der vom Alkohol bewirkten Veränderung, die nur beim Umschmelzen der Gelatine verwischt wird.

Daß überhaupt Gerinnungsstrukturen nicht, wie *Bütschli* meint, für ihre Entstehung den flüssigen Zustand der Gallerte voraussetzen und beim Erstarren derselben bereits vorhanden sein müssen, läßt sich an Fällungen in starren und klaren Gelatinen dartun. Da nämlich die Fällungsgrenze von Sulfaten, Citraten oder Tartraten der Alkalien für Leim mit sinkender Temperatur niedriger wird, so gelingt es leicht Salzgelatinen herzustellen, in denen dichte Fällungen erst tief unter dem Erstarrpunkte in der festen und wasserklaren Gelatine auftreten. Solche Gerinnungen folgen nun ebenso den gesetzmäßigen Einflüssen von Gerinnungskernen wie in Flüssigkeiten entstehende. Die schönen Figuren, welche *Liesegang* in Gallerten mit Hilfe von Niederschlägen herstellen konnte, beruhen alle im wesentlichen auf der Kernwirkung einmal gebildeter Gerinnungen. In solchen Vorgängen findet auch die von *Bütschli* für die Präexistenz einer Wabenstruktur verwertete Erscheinung, daß in Leim aufgeschwemmte feinste Körnchen sich stets in den Knoten und Wänden des hervorgerufenen Gerüstwerkes finden, ihre ungezwungene Deutung, indem diese Fremdkörper als Gerinnungskerne wirken. Aus eben demselben Grunde ordnen sich die Waben reihenförmig an, entsprechend den Putzstreifen des Objektträgers, und wir werden es ebensowenig als Beweis einer präformierten Schaumstruktur ansprechen können, daß die Gerinnungen in der Gallerte zugleich einen getreuen Ausdruck aller in derselben auftretenden Zugspannungen darbieten, welche teils bei der Schrumpfung während des Trocknens, teils durch Verkleinerung sich abkühlender Luftblasen entstehen.

Als eine weitere Stütze für die Annahme einer primären Gallertstruktur gelten die Beobachtungen, welche an Zug- und Druckwirkungen ausgesetzten feinen Gelatinefäden auftreten, die vorher in absolutem Alkohol aufbewahrt oder einige Zeit an der Luft getrocknet waren. Werden solche Fäden gedehnt oder gebogen, so erkennt man an ihrer Oberfläche unter dem Mi-

kroskope eine gekreuztstreifige Struktur, welche weiß und undurchsichtig gewordenen Fadenpartien entspricht. Dabei kann die Seele des Fadens ihre hyaline Beschaffenheit bewahren. Daß es sich da um mehr oder weniger deutliche Kontinuitätstrennungen handelt, ist bei der Art ihrer Entstehung außer Zweifel. Die Regelmäßigkeit der hervorgerufenen Bilder wird von *Bütschli* in der Weise erklärt, daß ähnlich einem verzogenen Teilnetz die gedehnten Waben zu einem sich schräge kreuzenden Streifensystem Veranlassung geben. Für eine solche Auffassung würde der Nachweis sprechen, daß die Abstände der Streifen kleiner sind als die Wabendurchmesser. Das Gegenteil ist jedoch der Fall. *Bütschli* hat die letzteren mit 0·7 μ bestimmt, die Streifenabstände betrugen jedoch 2·1—2·3 μ.

Daß es sich bei *Bütschlis* Fundamentalversuchen zur Sichtbarmachung einer Gallertorganisation um echte Gerinnungen handelt und nicht um eine weitergehende Erstarrung von Gerüstwänden, dafür dürfte auch der folgende Versuch sprechen, welcher auf der Verschiedenheit von Gelatinierung und Leimfällung unter dem Einflusse von Kombinationen der Elektrolyte und Nichtelektrolyte beruht. Solche Stoffpaare summieren sich algebraisch in ihrer Wirkung auf das Gelatinieren, während die durch Elektrolyte hervorgerufene Koagulation bei Anwesenheit von Nichtelektrolyten, wie Rohrzucker oder Harnstoff, ausbleibt oder sogar durch nachträglichen Zusatz solcher zur Rückbildung gebracht werden kann. Werden dünn aufgestrichene Leimschichten nach der Erstarrung für 15 Minuten in 0·3%ige Chromsäure bei einer gleichmäßigen Temperatur von etwa 23° C eingebracht, so kommt es zur Ausbildung jener schönen von *Bütschli* beschriebenen Gerinnungsstrukturen. Sobald jedoch der Chromsäure Harnstoff (1 n) zugesetzt wird, bleibt die Strukturbildung und Trübung der Gelatine aus. Daß es sich hier nicht um den erstarrungshemmenden, sondern um den antikoagulierenden Effekt handelt, geht aus folgender Vergleichsprobe hervor. Ebenso wie Harnstoff wirken Chloride das Gelatinieren verhindernd, und zwar entspricht hier der 1 n-Harnstoffkonzentration 2 n-Kochsalz, während die gerinnungshemmende Wirkung den Chloriden nicht zukommt. In der Tat verhindert nun auch ein dem Harnstoff adäquater Zusatz von Natriumchlorid zur Chromsäure durchaus nicht das Auftreten der typischen Gerinnungsstruktur in Leimgallerten.

Zu diesen bis heute unwiderlegten Argumenten (*Pauli*[69]) gegen die Wabentheorie kommen noch Beobachtungen aus neuerer Zeit, nach denen es, ohne Änderung der Struktur im Sinne einer Aggregation der Teilchen zu Gerüstwänden, leicht gelingt, durch Säure- oder Alkalizusatz jedes konzentriertere Eiweißsol durch die dabei erfolgende starke Hydratation der Teilchen in eine Gallerte zu verwandeln. Ferner sprechen dafür die schon erwähnten ultramikroskopischen Untersuchungen aus *Zsigmondys* Institut *(Menz)*, welche einen strukturellen Unterschied von flüssiger und starrer Gelatine nicht erkennen lassen.

Die andere Auffassung des gallertigen Zustandes *(Pauli)* erkennt keinen strukturellen Unterschied zwischen Eiweißsol und Gallerte an. Durch eine starke Hydratation schon der neutralen Teilchen wird vielmehr bei der letzteren ein so großer Teil des Wassers gebunden, daß das übrig bleibende seine freie Beweglichkeit verliert. Das Verhältnis zwischen ungebundenem und Hydratwasser entscheidet somit über den Grad der Viskosität, die alle Übergänge bis zum festen Aggregatzustand durchlaufen kann. Die Kräfte, welche die Gallertteilchen zusammenhalten, sind dieselben, welche die Teilchen eines Krystalles oder von Krystallaggregaten aneinander binden, nur sind infolge des hohen Molekulargewichtes, der starken Hydratation und der hohen inneren Reibung die Widerstände zu groß, damit es unter normalen Verhältnissen zu einer richtenden Wirkung der Kräfte auf die Gallertteilchen kommt.

Diese Anschauung findet in interessanten Untersuchungen von *P. P. Weimarn* und von *H. Jones* an anorganischen Stoffen eine wertvolle Stütze. *Weimarn* konnte durch starke Abkühlung und plötzliche Abscheidung Salze in Form von glasigen Gallerten gewinnen und wies darauf hin, daß Zähigkeit der Lösung und hohes Molekulargewicht der Substanzen die Bildung solcher Krystallgallerten begünstige. *Jones* hat die Hydratbildung in Salzlösungen eingehend untersucht und ihre Zunahme mit sinkender Temperatur konstatiert. Ferner haben ihm Versuche mit *H. P. Basset* ergeben, daß es unter Umständen gelingt, bei niedriger Temperatur Salze mit mehr Hydratwasser zur Auskrystallisation zu bringen als bei höherer.

Wir möchten auch deshalb in erster Reihe die Bedeutung der Hydratation für den gallertigen Zustand hervorheben, weil aus ihr zugleich die Bildung ionischer Gallerten aus neutralen Solen und das Verhalten der Gallerten bei Temperaturerhöhung, welche die Hydratation vermindert und Fluidität und Molekularbewegung steigert, unschwer verständlich wird.

Aus dem eben Angeführten folgt umgekehrt, daß Kleinheit der Teilchen und geringe Hydratation neben Abnahme der Zähigkeit für eine Wirksamkeit richtender Kräfte bei der Krystallbildung aus Proteinlösungen die günstigsten Bedingungen darstellen werden. In der Tat kann hierfür die *Hofmeister-Hopkins*sche Methode zur Gewinnung von Albuminkrystallen mittelst Ammonsulfatlösung, die am besten schwach angesäuert wird, als Beispiel dienen. Nach den früheren Erörterungen kommt es dabei zur Abscheidung von Salzioneneiweiß, welches durch die schwache Säuerung nahe an den isoelektrischen Punkt, also zum Maximum der Neutralteilbildung und Dehydratation gebracht wird. Daß weiter das Salzioneneiweiß gegenüber dem genuinen neutralen durch eine schwächere Hydratation, Viskositätsabnahme und durch eine geringere Assoziation der Teilchen ausgezeichnet ist, geht aus allen in dem betreffenden Abschnitt angeführten Beobachtungen hervor. Auch die lyotrope Neutralsalzwirkung ist eine de-

hydrierende und alle diese Umstände zusammen ermöglichen jene *Hofmeister*sche Eiweißkrystallisation, die, wie zu erwarten, übrigens nur zu kleinen Krystallen führt. Auch die Neigung zu Unvollkommenheiten der Krystallbildung, Globuliten, wird am Eiweiß nach dem Gesagten nicht weiter befremden.

* * *

Es würde den Rahmen dieser kurzen Übersicht weit überschreiten, die biologische Bedeutung der kolloiden Zustandsänderungen der Proteine im einzelnen [70]) zu erörtern, nur auf einige Beziehungen zu Fragen der allgemeinen Physiologie möge hier noch verwiesen sein.

Nach den klassischen Ausführungen *Ewald Herings* über das Gedächtnis als allgemeine Funktion der organisierten Materie hinterläßt ein jeder Vorgang in der lebendigen Substanz eine materielle Veränderung, er ist prinzipiell irreversibel. Diese Irreversibilität des Vorganges ist jedoch physiologischer Weise weit davon entfernt, eine quantitative zu sein. In der Regel wird die irreversible Veränderung eine sehr geringfügige sein, häufig erst durch ihre Summierung physiologisch wahrnehmbar, während die lebendige Substanz nach Ablauf der Zustandsänderung wieder in einen von dem ursprünglichen nur unmerklich verschiedenen Zustand zurückkehren wird. Wir müssen bei näherer Betrachtung dieser relativen Reversibilität neben der prinzipiellen Irreversibilität die größte Bedeutung für den physiologischen Ablauf der Lebensvorgänge zusprechen. Ihre Wichtigkeit für die Herstellung der Ruhelage der Zellprozesse, für die Aufhebung von Sinneseindrücken, für die Beseitigung pathologischer Abweichungen, für die Lebensdauer überhaupt ist ersichtlich und ihre Rolle bei den fundamentalen Lebenserscheinungen erscheint nicht minder reich und tief als die der Irreversibilität, so daß es ein verlockendes Unternehmen wäre, den Ausführungen über das Gedächtnis, solche über das „Vergessen“ als eine Grundlage des organischen Geschehens an die Seite zu stellen. Beispiele für ein solches Nebeneinander von Reversibilität und Irreversibilität lassen sich in großer Zahl auch den Zustandsänderungen der Kolloide entnehmen. So zeigt, um ein besonders durchsichtiges anzuführen, eine vorsichtig zum Schmelzen und Erstarren gebrachte Gelatine keine nachweisbare Änderung des Erstarrungspunktes, der aber bei Wiederholung dieses Vorganges stetig herunterrückt. Ein reversibler Vorgang — Hydratation und Dehydratation — verläuft hier neben einem irreversiblen, der Glutinpeptisation.

Dem Organismus werden zur Erhaltung der relativen Reversibilität seiner Substanz zwei Wege offen stehen:

1. Mehr oder minder vollständiger Neuaufbau von nativem Material an Stelle des veränderten;

2. Hemmungsmechanismen für die irreversible Zustandsänderung, so daß sie praktisch für lange Zeit neben der reversiblen zurücktritt.

Es leuchtet ein, daß der erste Weg in den meisten Fällen unökonomisch und langsam zum Ziele führen würde. Er würde ferner jenen Eindruck des physiologischen Geschehens auf die plasmatische Substanz unmöglich machen, der im Sinne *Herings* und *Semons* für Gedächtnis, Übung, Bewußtseinsbildung, Anpassung und höhere Differenzierung der Lebewesen als unerläßlich gelten muß. Dagegen ist der zweite, die zeitliche Erhaltung einer gewissen Reversibilität an der gleichen lebendigen Materie für zahlreiche Prozesse in den Sinnesorganen, für Ruhe und Erregung im Nervensystem und für dessen Ansprechsfähigkeit überhaupt, für Kontraktion und Erschlaffung des Muskels usf. nach unserer ganzen Kenntnis dieser Erscheinungen ein zwingendes Postulat.

Im Organismus gibt es nun keine funktionellen Änderungen, die nicht direkt oder indirekt mit Zustandsänderungen der Proteine verbunden wären und so finden wir auch alle Bedingungen für eine prinzipielle Irreversibilität und eine relative Reversibilität der Wandlungen an seinen Eiweißstoffen verwirklicht. Sein vornehmstes und allgegenwärtiges Mittel zur Regulierung dieser Reversibilität an den Proteinen bilden seine Ionen. Für die Betrachtung dieser Ionenfunktion empfiehlt es sich auch hier, Neutralsalze von Säuren und Laugen zu trennen.

Als allgemeinste biologische Funktion der Salzionen erscheint uns die Erhaltung der kolloiden Stabilität des Eiweißes. Eine solche gewährleistet erst seine stetige Bereitschaft für physiologische Leistungen und drückt automatische, außerhalb des organischen Betriebes gelegene Veränderungen auf ein Minimum herab. Ohne die Salzionen würde, wie das Experiment zeigt, das genuine neutrale Eiweiß schon bei Körpertemperatur eine fortschreitende, mit dem Leben unvereinbare Denaturierung erfahren, und die Globuline, ein nirgends fehlendes Protein, wären ohne Salz nicht im Solzustande existenzfähig. In diesem Sinne dürfen wir nur das Salzioneneiweiß als Bestandteil der lebenden Substanz und der tierischen Flüssigkeiten bezeichnen. Daß die Beeinflussung der inneren Reibung und der Diffusibilität von Eiweiß durch Salzionen für zahlreiche physiologische Vorgänge von Belang ist, soll hier nur kurz erwähnt sein.

Ein nicht geringes Interesse des Biologen darf auch die Löslichkeitserhöhung schwer löslicher Elektrolyte durch Proteine [29]) durch die Bildung stabiler Ioneneiweißkomplexe beanspruchen. Auf diesem Wege ist erst der Transport und die Verteilung solcher Substanzen im Organismus und andrerseits ihre Abscheidung unter bestimmten Bedingungen, wie Eiweißzerfall, gewährleistet, wodurch anorganische Vorgänge bei der Kalkablagerung, beim Aufbau verschiedener Gerüste, Konkrementbildung mit dem Proteinstoffwechsel in Zusammenhang gebracht erscheinen.

Auch die mit der Entstehung von ionischem Eiweiß verbundenen Zustandsänderungen dürften in den Lebensprozessen eine hervorragende Rolle

spielen. An die mit der Proteinionisation einhergehende Hydratation — Viskositäts-, Quellungs- und osmotische Drucksteigerung — sind Änderungen in der Wasserbindung der Zellen und Gewebe geknüpft, welche von *M. H. Fischer* einer Theorie des Ödems und der Nephritis zugrunde gelegt wurden. Unter Umständen können ganz bedeutende mechanische Arbeitsleistungen in dieser Art zustande kommen. Neuere Versuche von *Pauli* und *Matula* lassen eine darauf gegründete Theorie der Muskelkontraktion aussichtsreich erscheinen.

Eine ganz eminente, bisher nicht gewürdigte Bedeutung dürfte der Bildung von Eiweißionen als der typischen Grundlage der bioelektrischen Vorgänge zukommen.[70a]) Die Beweglichkeitsbeschränkung der großen hydratisierten Eiweißionen neben den viel beweglicheren Salzionen führt selbst ohne Membranabgrenzung zur Entstehung elektromotorischer Kräfte, wobei Säuerung an der Grenze von neutralem Eiweiß (Sol oder Gallerten) stets negativierend wirkt *(Pauli* und *Matula).* Es gelang so leicht Ketten aufzubauen, welche die elektrischen Organe der Fische imitieren. Auf Grund der Veränderungen am ionischen Eiweiß lassen sich auch Muskelkontraktion und bioelektrische Vorgänge unter einen Gesichtspunkt vereinen. In der Nervensubstanz wirken die anwesenden Lipoide einer Quellung durch Bildung von ionischem Eiweiß entgegen (*J. Bauer* [70]).

Die Beziehungen der Eiweißkörper zu den Kolloiden kommen normalerweise in den Wechselwirkungen mit den Zellipoiden zum Ausdruck. Sie sind es auch, welche die sogenannten oligodynamischen Erscheinungen *(Naegeli)* erklären (*Pauli* [9]), bei denen eine vorübergehende Berührung mit manchen Metallen, z. B. Kupfer, dem Wasser eine starke Giftigkeit für Zellen verleihen kann. Hier handelt es sich um Metalle, welche als Metallhydroxyde in kolloide Lösung gehen und wir verstehen es wohl aus dem amphoteren Charakter von Eiweiß, das wegen der Relation $K_a > K_b$ gerade elektropositive Kolloide fest zu binden vermag, wie es hier auch aus hochgradig verdünnten Lösungen zu einer Speicherung in den Zellen bis zur Vergiftung kommt.[9]) Theoretisch wäre eine geringere Empfindlichkeit gegen elektronegative Kolloide zu erwarten, doch stehen einschlägige Versuche noch aus. Die schon aus *Naegelis* Beobachtungen notwendig folgernde Löslichkeit von Metallen in Wasser ist neuestens von *Traube* und *Megarini* eingehend analytisch untersucht worden.

Auch die Verwandtschaft des gallertigen Zustandes mit dem Aggregatzustand und vielen sonstigen Eigenschaften der lebendigen Substanz war wiederholt Gegenstand besonderer Darstellungen.[71]) Die Möglichkeit aller Übergänge von fest zu flüssig, die Wasserbindung durch bedeutende Kräfte auch mittelst neutraler Teilchen, die chemischen Reaktionen und Diffusion im Innern trotz des festen Aggregatzustandes bieten da zahlreiche Analogien. Die Geschwindigkeit der Quellung und Entquellung bei

Gallerten in den Dimensionen der Zellen entspricht durchaus der Schnelligkeit der bei diesen beobachteten Form- und Volumänderungen.

Ein Übermaß der irreversiblen Veränderungen bedeutet den Untergang der Zelle. *Fürth* und *Lenk*[72]) haben kürzlich ein interessantes Beispiel dieser Art — die Lösung der Totenstarre — mit Erfolg analysiert. Wir möchten diesen Vorgang auf eine Überproduktion von Milchsäure beziehen, welche das Muskeleiweiß in der Weise verändert, wie dies beim Säureeiweiß nach Überschreitung des Reibungsmaximums zu finden ist.

Schon an den wenigen hier angeführten Beispielen wird die große Wichtigkeit einer gründlichen Kenntnis der kolloiden Zustandsänderungen der Eiweißkörper für alle Gebiete der Physiologie erkennbar und es läßt sich wohl mit Sicherheit voraussagen, daß die ablehnende oder teilnahmslose Haltung mancher Physiologen gegen das neue Grenzgebiet in naher Zeit überwunden sein wird.

Literatur.

[1]) Zur kurzen „Einführung in die Kolloidchemie" ist zu empfehlen das so benannte Büchlein von *V. Pöschl,* 3. Aufl., 1911, zum eingehenden Studium. *Wo. Ostwald,* Grundriß der Kolloidchemie, 2. Aufl., 1911 (elementare, aber dennoch ausführliche Darstellung) und *H. Freundlich,* Kapillarchemie. 1909 (mit ausgezeichneter strengerer Ableitung der einschlägigen Kapillarphysik). Ferner *A. Müller,* Chemie der Kolloide (1907). Alle Autorenarbeiten ohne Spezialzitat können diesen Werken entnommen werden.

[2]) *W. Biltz, Van Bemmelen*-Gedenkschrift, 1910, 108.

[3]) *Menz,* Zeitschr. f. physik. Chemie, **66**, 129 (1908).

[4]) Unveröffentlicht.

[5]) *C. J. Martin,* The Journ. of Physiol., **20**, 364 (1896).

[6]) *H. Bechhold.* Zeitschr. f. Elektrochemie, **12**. 777; Zeitschr. f. physik. Chemie, **60**, 237 (1907), **64**, 328 (1908).

[7]) *J. Billiter,* Zeitschr. f. physik. Chemie, **51**, 130 (1905).

[8]) *W. B. Hardy, van Bemmelen*-Gedenkschrift, 1910, 180.

[9]) *W. Pauli, Hofmeisters* Beiträge, **6**, 233 (1905).

[10]) *Pauli, Hofmeisters* Beiträge, **7**, 531 (1906); *Landsteiner* und *Pauli,* 25. Kongreß für innere Medizin (1908).

[11]) *F. Botazzi,* Accadem. dei Linc., **17**, 49/57 (1908).

[12]) *L. Michaelis,* Biochem. Zeitschr., **16**, 81 (1909).

[13]) *W. Pauli,* Naturw. Rundschau, **1906**, Nr. 1 u. 2.

[14]) *Laqueur* und *Sakur, Hofmeisters* Beiträge, **3**, 193 (1903).

[15]) *Hardy,* The Journal of Physiol., **33**, 251 (1905).

[16]) *Pauli,* Kolloidchemische Studien am Eiweiß. Dresden 1908.

[17]) *L. Michaelis,* Biochem. Zeitschr., **24**, 79 (1910).

[18]) Noch unveröffentlicht.

[19]) *Hofmeisters* Beiträge, **10**, 53 (1907).

[20]) *K. Spiro, Hofmeisters* Beiträge, **4**, 300 (1904).

[21]) *L. Moll,* ebenda, **4**, 563 (1904).

[22]) *H. Handovsky,* Biochem. Zeitschr., **25**, 510 (1910).
[23]) *W. Ramsden,* Zeitschr. f. physik. Chemie, **47**, 336 (1904).
[24]) *Metcalf,* ebenda, **52**, 1 (1905).
[25]) *Pauli, Pflügers* Archiv, **78**, 315 (1899).
[26]) Vgl. *J. Loeb,* Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig 1906.
[27]) *Hofmeisters* Beiträge, **11**, 415 (1908).
[28]) Vgl. *Pauli* und *Wagner,* Biochem. Zeitschr., **27**, 226 (1910).
[29]) *Pauli* und *Samec,* Biochem. Zeitschr., **17**, 235 (1909); Wiener med. Wochenschr., 1910, Nr. 39.
[30]) *F. Hofmeister,* Archiv f. exp. Pathol. u. Pharmakol., **24**, 247.
[31]) *Pauli* und *Rona, Hofmeisters* Beiträge, **2**, 1 (1902).
[32]) *Pauli, Hofmeisters* Beiträge, **3**, 225 (1903).
[33]) *N. Rothmund,* Zeitschr. f. physik. Chemie, **33**, 401 (1900).
[34]) *S. Posternak,* Annales de l'Institut *Pasteur,* **15**, 85 (1901).
[35]) *W. Pauli, Hofmeisters* Beiträge, **5**, 27 (1903).
[36]) *R. Höber, Hofmeisters* Beiträge, **11**, 35 (1907).
[37]) *Sjöqvist,* Skandin. Archiv f. Physiol., **5**, 277 (1894); **6**, 255 (1895).
[38]) *Bugarsky* und *Liebermann, Pflügers* Archiv, **72**, 51 (1898).
[39]) *Pauli, Hofmeisters* Beiträge, **7**, 531 (1906).
[40]) *Pauli* und *Handovsky,* Biochem. Zeitschr., **18**, 340 (1909).
[41]) *Schorr,* Biochem. Zeitschr., **13**, 173 (1908).
[42]) *Schorr,* Biochem. Zeitschr., **37**, 424 (1911).
[43]) *Pauli* und *Wagner,* vorl. Mitteil., Akad. Anzeiger, IX, 1910.
[44]) *Pauli* und *Samec,* vorl. Mitteil., Akad. Anzeiger, XVII, 1910.
[45]) Zit. nach *F. Botazzi* in *Wintersteins* Handbuch der vergleichenden Physiologie, **1**, Nr. 1.
[46]) *Abegg* und *Bodländer,* Zeitschr. f. anorgan. Chemie, **20**, 453 (1899).
[47]) *R. Lillie,* The American Journ. of Physiology, **20**, 127 (1907).
[48]) *Hardy* und *Wood,* Kolloidzeitschr., **4**, 213 (1909).
[49]) *Pauli* und *Handovsky,* Biochem. Zeitschr., **24**, 239 (1910).
[50]) *U. Friedemann,* Archiv f. Hygiene, **55**, 361 (1906); daselbst Literatur.
[51]) *T. Sollmann,* American Journal of Physiol., **7**, 220.
[52]) *S. B. Schryver,* Proc. of the Royal soc., **83**, 96 (1910).
[53]) *Galeotti,* Zeitschr. f. physiol. Chemie, **40**, 492 (1904).
[54]) *Pauli, Pflügers* Archiv, **67**, 219 (1897); **71**, 1 (1898).
[55]) *Hofmeister,* Archiv f. exp. Path. u. Pharm., **25**, 13 (1888); **28**, 210 (1891).
[56]) *H. Quinke, Pflügers* Archiv, **3**, 332.
[57]) *H. Rodewald,* Untersuchungen über die Quellung der Stärke. Leipzig 1896.
[58]) *E. Wiedemann* und *Lüdeking, Wiedemanns* Ann., N. F., **25**, 145 (1885).
[59]) *J. R. Katz,* Königl. Akademie der Wissenschaften in Amsterdam, 25. März 1911.
[60]) *O. Bütschli,* Abhandlungen der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, 1894/1895. — *O. Bütschli,* Untersuchungen über Strukturen. Leipzig 1898, W. Engelmann.
[61]) *W. Bayliss,* Biochemical Journal, **1**, 175 (1906).
[62]) *Wo. Ostwald, Pflügers* Archiv, **111**, 581 (1906).
[63]) *v. Schröder,* Zeitschr. f. physik. Chemie, **45**, 75 (1903).
[64]) *K. Spiro, Hofmeisters* Beiträge, **5**, 276 (1904).
[65]) *Wo. Ostwald, Pflügers* Archiv, **108**, 563 (1905).

66) *R. Chiari,* Biochem. Zeitschr., **33**, 167 (1911).

67) *M. H. Fischer,* Das Ödem etc. Dresden 1910; das. Literatur.

68) *H. R. Prokter,* Kolloidchem. Beihefte, **2**, 213 (1910).

69) Naturwissenschaftliche Rundschau, **17**, Nr. 25, 26, 27 (1902); Kolloidzeitschr., **7**, 241 (1910).

70) Vgl. *Pauli,* Kolloidchemie und Physiologie. Leipzig 1906; ferner 70a) *Pflügers* Archiv. **136**, 438 (1910).

71) *Pauli,* Ergebnisse der Physiologie, III, 156 (1904); **IV**, 105 (1906); *E. Przibram,* Monographische Darstellung in Kolloidchem. Beihefte, II, 1 (1910).

72) *v. Fürth* und *Lenk,* Biochem. Zeitschr., **33**, 341 (1911).

Automatische Telephonie.

Von **Dr. Gustav Eichhorn**, Zürich.

Da die automatische Telephonie sich erst in jüngster Zeit in Europa im öffentlichen Verkehr bemerkbar macht, so könnte mancher annehmen, daß es sich um eine Errungenschaft der Neuzeit handelt; dies ist nicht der Fall, sondern es wurde bereits kurz nach Erfindung des Telephons das erste Patent auf ein automatisches Vermittlungssystem in Amerika erteilt. Die schnelle praktische Einführung scheiterte zunächst an der raschen Entwicklung des Fernsprechverkehres und wurde erst nach Überwindung erheblicher Schwierigkeiten und Aufwand großen Scharfsinns ermöglicht. Von den vielen Systemen, die sich dann nach und nach herausbildeten, hat sich schließlich nur eins als wirklich lebensfähig erwiesen, nämlich das nach dem Amerikaner *Strowger* genannte System der Automatic Electric Co. zu Chicago. Bereits im Jahre 1892 erbaute diese Gesellschaft in La Porte im Staate Indiana (U. S. A.) das erste automatische Amt der Welt. Heute hat sie in mehr als 130 Orten automatische Ämter mit mehr als 200000 Anschlüssen in Betrieb, z. B. in Chicago allein eine Anlage von 20000 Anschlüssen (erster Ausbau) (vgl. Kurve Fig. 91).

Zum Studium der automatischen Telephonie errichtete im Jahre 1900 in Deutschland die Reichspost eine Versuchsanlage für ca. 400 Anschlüsse die nach den jeweilig folgenden Verbesserungen wiederholt umgebaut wurde. Im Jahre 1908 geschah dann die erste Umwandlung eines Amtes mit ca. 1000 Anschlüssen in vollautomatischem Betrieb, nämlich in Hildesheim (Fig. 92); Umbau und Verwaltung erfolgte durch die damaligen Lizenzinhaber des *Strowger*-Systems, die deutschen Waffen- und Munitionsfabriken *(Ludwig Löwe)*; die Apparate waren noch größtenteils amerikanisches Fabrikat. Bald darauf wurde die Gesellschaft für automatische Telephonie gegründet unter spezieller tätiger Mitwirkung der *Siemens & Halske* Aktiengesellschaft, die das *Strowger*-System weiter vervollkommnete und an europäische Verhältnisse anpaßte. Das erste größere Arbeitsobjekt bot die Umwandlung des Telephonbetriebs in München (Fig. 93 u. 94). Nach reiflicher Überlegung entschloß man sich, das vollautomatische System für ganz München zur Anwendung zu bringen, wobei gleichzeitig eine vollständige Umgestaltung des Stadtnetzes vorgenommen werden sollte. Durch

Fig. 91.

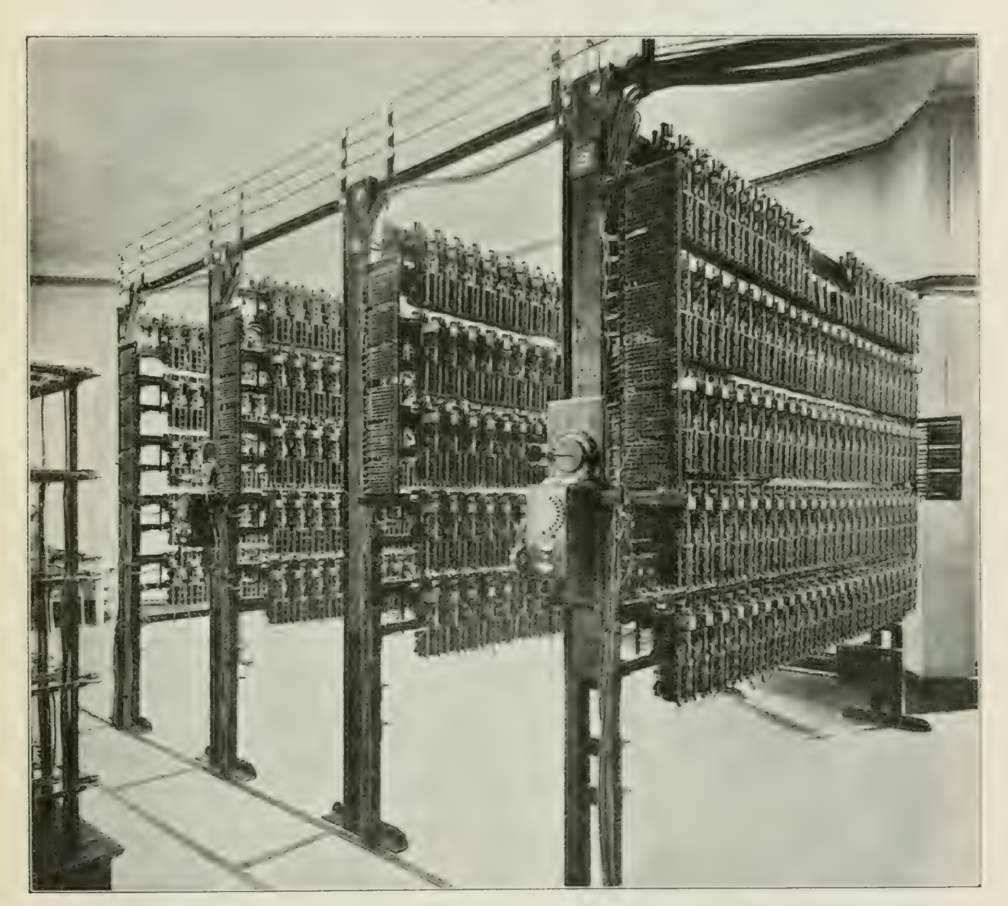


Ausbreitung des automatischen Systems in Amerika.

Einführung des automatischen Telephons konnte, wie wir nachher noch auseinandersetzen werden, die Anlage derart dezentralisiert werden, daß

an den leitungstechnisch am günstigsten Punkten der Peripherie eine Reihe kleinerer Ämter eingerichtet werden und für das Stadtinnere zwei große Ämter bestehen bleiben. In ca. 2—3 Jahren wird der jetzt schon weit vorgeschrittene Umbau vollendet sein und Ämter mit einer Gesamtkapazität von 40000 Anschlüssen vorhanden sein. Bemerkenswert ist auch die

Fig. 92.



Erstes deutsches vollautomatisches Amt Hildesheim.

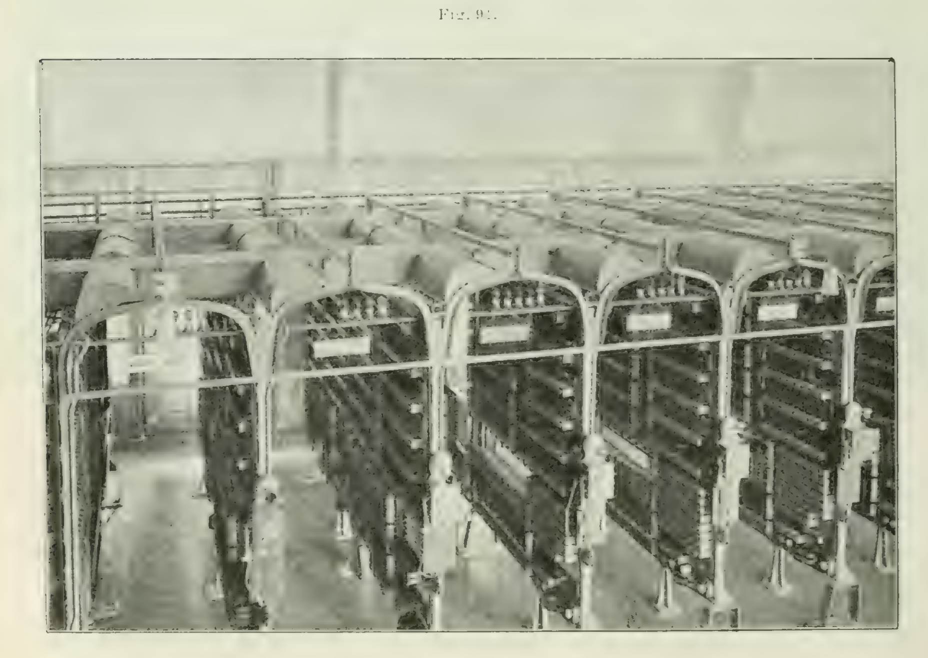
Anlage in Altenburg (Fig. 95) mit 1000 Anschlüssen und ferner die ganz neue halbautomatische Zentrale in Amsterdam (Fig. 96 u. 97) für 10000 Anschlüsse sowie das im Bau befindliche halbautomatische Amt in Dresden für 20000 Anschlüsse, welche letzteren beide vorbildlich für halbautomatischen Betrieb in Europa sein dürften. Um auf die große Anpassungsfähigkeit des automatischen Systems an vorhandene Anlagen hinzuweisen, erwähnen wir noch die Anlage für nur 30 Teilnehmer in dem kleinen

Fig. 93.



Automatisches Amt Schwabing-München.

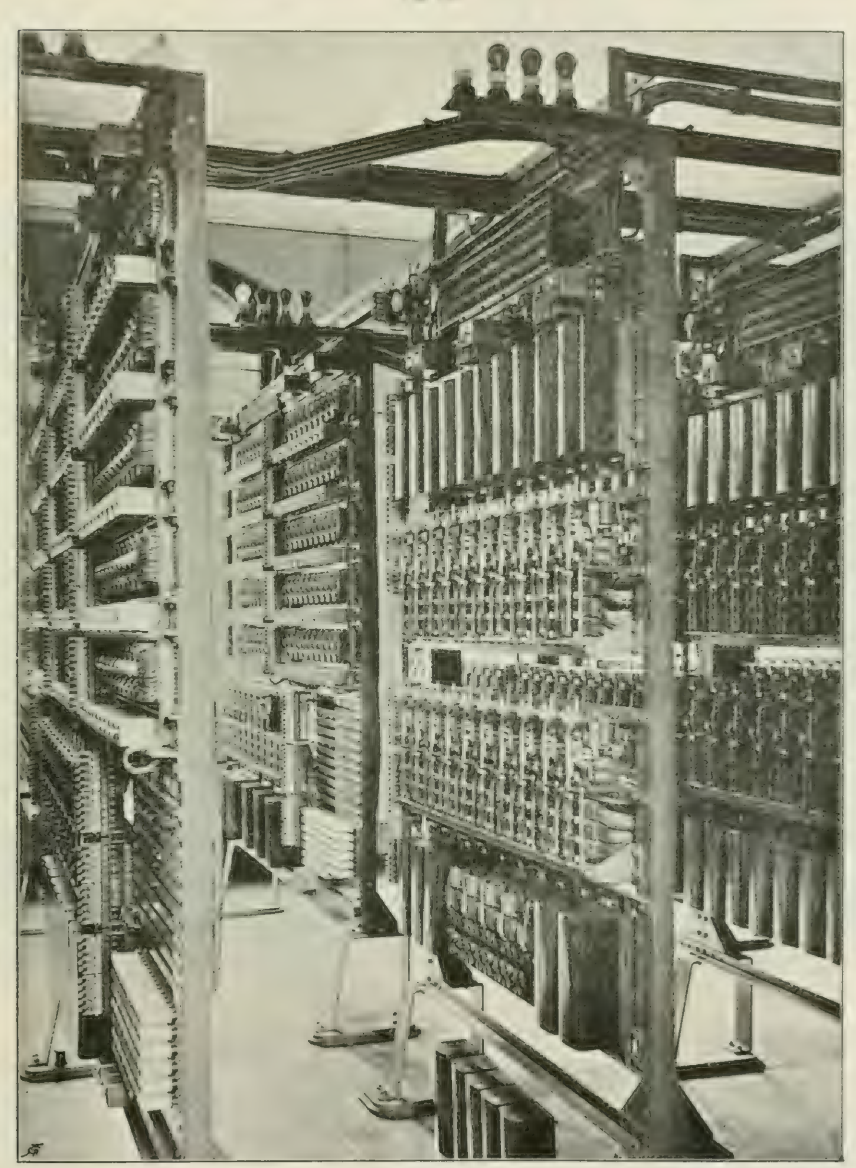
Fig. 94.



Automatisches Amt Haidhausen-München.

Landstädtchen Dallmin, sowie einige Privatanlagen, z. B. bei *Krupp*, in den Farbwerken vorm. *F. Bayer* (Fig. 98), in den Eisenwerken Lauchhammer

Fig. 98.



Automatisches 1000er Amt in Altenburg.

A.-G., bei der Breslauer Maschinenfabrik, in den Zeiswerken, im Wernerwerk der *Siemens & Halske* A.-G. u. a. m.

Zum Zwecke der Gegenüberstellung des alten manuellen Betriebs und des automatischen Systems wollen wir zunächst kurz den ersteren beschreiben. Der Teilnehmer ruft das Amt durch Abhängen seines Höhrrohrs an, auf dem Amte leuchtet die Anruflampe des Teilnehmers und die Kontrollampe des betreffenden Arbeitsplatzes auf. Nachdem die Beamtin die verlangte Nummer erfahren, führt sie den Verbindungsstöpsel vor 'die Klinke des betreffenden Teilnehmers und prüft durch Berührung derselben,

Fig. 96.



Halbautomatische Zentrale in Amsterdam.

ob der gewünschte Teilnehmer frei oder besetzt ist. Ist derselbe frei, so hört sie beim Berühren kein Geräusch; sie führt dann die Verbindung aus, ruft an und schaltet sich durch den Hörschlüssel aus. Erscheint dann das Schlußzeichen, so trennt sie die Verbindung wieder. Ist der gewünschte Teilnehmer schon anderseitig besetzt, so hört sie im Telephonhörer ein Knacken; sie teilt dem betreffenden Teilnehmer mit, nach einiger Zeit wieder anzurufen, zieht den Abfragestöpsel heraus und legt den Sprechumschalter in die Ruhelage zurück. Meldet sich bei einem Anruf der Teilnehmer nicht, so hat die Beamtin den Anruf zu wiederholen, und wenn

auch dieser Ruf vergeblich ist, den rufenden Teilnehmer entsprechend zu verständigen. Sobald jedoch der gewünschte Teilnehmer seinen Hörer abhängt, erlischt die zugeordnete Schlußlampe und zeigt damit der Beamtin an, daß die Verbindung zustande gekommen ist. Hängen endlich die Teilnehmer nach Beendigung ihres Gespräches ihre Höhrer wieder ein, so leuchten beide Schlußlampen auf, worauf die Beamtin durch Herausnahme der Stöpsel die Verbindung zu trennen hat.

Fig. 97.



Verbindungstisch mit Besetzung der halbautomatischen Zentrale Amsterdam.

Man sieht hieraus, daß der Beamtin in dem Abfragen, Prüfen, Verbinden, Rufen, Überwachen und Trennen jeder einzelnen Verbindung eine recht erhebliche Arbeitsleistung zugewiesen ist, und daß also die Güte des Betriebs von der Tüchtigkeit des Personals in hohem Grade abhängen wird. Um ein zeitliches Zusammentreffen mehrerer Anrufe an demselben Arbeitsplatz und die hierdurch verursachten Verzögerungen in der Erledigung der einlaufenden Meldungen zu vermeiden, hat man schon sogenannte Verteilersysteme eingeführt, die die höchste Entwicklungsstufe des manuellen Be-

triebs darstellen. Hiernach sind für jede Verbindung mindestens 2 Beamtinnen erforderlich, von denen die eine, welche man als die A-Beamtin bezeichnet, nur die Aufgabe hat, die ankommenden Rufe an unbeschäftigte Arbeitsplätze weiterzugeben, wo die B-Beamtin die Verbindungen herstellt. Die rein mechanische Tätigkeit der A-Beamtin drängt also schon von selbst auf ihren Ersatz durch eine Maschine; wir haben hier gewissermaßen schon eine Übergangsform zum automatischen Betrieb.

Fig. 98.



Automatische Zentrale der Farbwerke vorm. F. Bayer in Leverkusen.

Für ein manuelles Verbindungsamt für nur 10000 Teilnehmer, das schon großer Räumlichkeiten bedarf, sind zur Bedienung inklusive Ablösung bereits etwa 200 Beamtinnen erforderlich und für jede ein großer Platz am Zentralumschalter. Viel mehr Teilnehmer lassen sich überhaupt nicht in einem manuellen Amte vereinigen, da diese Schalttafeln dann zu groß würden.

Welches sind nun die Ausführungsprinzipien und der Arbeitsbetrieb eines automatischen Systems bzw. der selbsttätigen Telephonumschaltstellen,

bei denen überhaupt keine Beamtinnen mehr tätig sind, sondern jeder Teilnehmer sich die gewünschte Verbindung selbst herstellt?

Die Kühnheit eines solchen Vorhabens geht schon aus der Überlegung hervor, daß für ein automatisches Amt von 100000 Teilnehmern, wie es in absehbarer Zeit in den Großstädten zu finden sein wird, die Zahl der möglichen Verbindungen 100000 × 100000 = 10000 Millionen beträgt. Diese gewaltige Zahl weist sofort darauf hin, daß natürlich gar nicht daran zu denken ist, für eine selbsttätige Herstellung der Verbindungen jedem Teilnehmer individuell einen Apparat zuzuordnen, der ihn mit allen übrigen verbinden könnte. Das wird noch plausibler, wenn man sich ausrechnet, daß man etwa 1000 Jahre zählen würde, um bis zu 10 Milliarden zu gelangen, bei einer Zählgeschwindigkeit von einer Zahl pro Sekunde, und wie lange sollte erst selbst ein Heer von Arbeitern zum Löten der Kontakte brauchen!

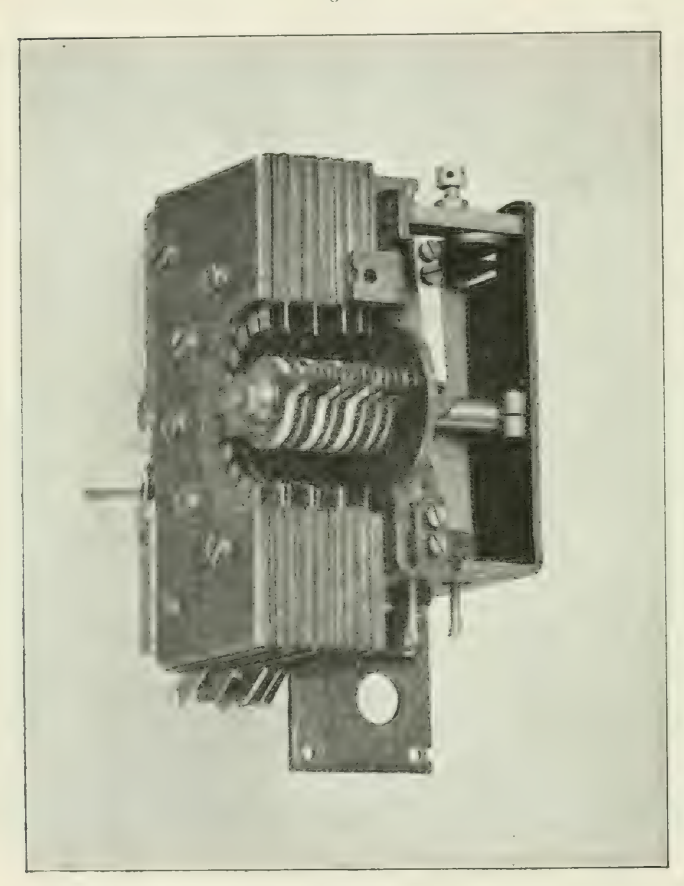
Zwei sinnreiche Kunstgriffe haben hauptsächlich über diese ersten Schwierigkeiten hinweggeholfen, und die gefundenen Mittel sind in den sogenannten Vorwählern und Gruppenwählern verkörpert. Der erstere besteht darin, daß man nicht jedem Teilnehmer einen eigenen Anschlußwähler gibt, sondern für je 100 Teilnehmer zusammen nur 10 Wähler vorsieht, welche die Beamtinnen ersetzen. Denn von den Teilnehmern eines Amtes spricht zu derselben Zeit ja doch immer nur ein kleiner Teil, und die Erfahrung zeigt, daß es völlig ausreicht, wenn man für je 10 Leitungen nur einen Wähler vorsieht. Andrerseits muß aber der Teilnehmer jederzeit einen freien Leitungswähler erreichen können, wenn die Schnelligkeit des Betriebes, einer der Hauptvorzüge des automatischen Systems, nicht in Frage gestellt werden soll. Man verbindet deshalb jede Anschlußleitung mit einem sogenannten Vorwähler, der in Fig. 99 abgebildet ist; es sind dies einfache Apparate, von denen jeder Teilnehmer einen im Amt besitzt, und der ihn automatisch sofort auf einen freien Leitungswähler schaltet, sobald er seinen Telephonhörer abhebt. Dieser Vorwähler erfüllt also dieselbe Aufgabe wie die A-Beamtin im manuellen Verteilungssystem. Auf diese Weise wurde also die Zahl der Apparate sofort auf den zehnten Teil reduziert. Das genügt aber noch nicht für den praktischen Betrieb, der erst durch den zweiten Kunstgriff ermöglicht wurde, nämlich durch die systematische Einteilung der Teilnehmer in Gruppen und Untergruppen nach dem Dezimalsystem. Man wählt erst die 10000er-Gruppe der verlangten Nummer, dann die 1000er-, 100er-, 10er- und Einer-. Der Wahlvorgang beschränkt sich dann jedesmal nur auf die Auswahl eines unter 10 Anschlüssen.

Wir wollen jetzt an den synthetischen Aufbau eines Amtes gehen, wobei ich mich an einen sehr übersichtlichen Vortrag anlehne, den Prof. *Raps*[1]) im Berliner Elektrotechniker-Verein gehalten hat. Um jede Mit-

[1]) *A. Raps*, Über automatische Telephonie. Vortrag, gehalten bei Gelegenheit des Gesellschaftsabends des Elektrotechniker-Vereins (Berlin) am 26. November 1910. (Sonderabdruck und Abdruck in der E. T. Z.)

wirkung einer Mittelsperson bei Ausführung einer Verbindung vollständig auszuschalten. muß die Verbindung durch einen selbsttätig arbeitenden Schaltmechanismus hergestellt werden, den der Teilnehmer selbst bedient. Zu diesem Zweck ist jeder Fernsprechapparat mit einem Nummernschalter gemäß Fig. 100 ausgerüstet, der mit einer außen am Apparat befindlichen Scheibe (Nummern-, Wähler- oder Fingerscheibe) verbunden ist. Diese ist um ihren Mittelpunkt drehbar und besitzt am Rande 10 mit den Zahlen *1* bis *9* und *0* bezeichnete Eingriffslöcher. Wünscht ein Teilnehmer z. B. die Nummer 8972 anzurufen, so legt er den Zeigefinger zunächst in die Öffnung *8*, dreht die Scheibe im Uhrzeigersinne bis zum Anschlag und läßt los, worauf sie durch Federkraft in die Ruhelage zurückgeführt wird. Dasselbe wiederholt man nacheinander für die Zahlen *9*, *7* und *2*. Sobald die Scheibe nach der letzten Drehung zur Ruhe kommt, ist die Verbindung ausgeführt, vorausgesetzt, daß die gewählte Leitung nicht bereits besetzt war. Das Amt entsendet jetzt automatisch Rufstrom in die gewünschte Leitung und beim zweiten Teilnehmer ertönt der Wecker.

Fig. 99.



Der Vorwähler.

Dieses wird also von dem rufenden Teilnehmer als sogenanntes Freisignal im eigenen Telephon gehört. Meldet der Teilnehmer sich nicht sofort, so wiederholt sich das Signal in regelmäßigen Pausen, solange bis Antwort erfolgt oder aber, bis man des weiteren Wartens müde, den Hörer

wieder angehangen hat. War die gewählte Leitung besetzt, so vernimmt der rufende Teilnehmer im eigenen Telephon ein andauerndes Summerzeichen: er hängt dann wieder ein, um den Ruf nach einiger Zeit zu wiederholen. Nach Gesprächsschluß wird die Verbindung durch Anhängen des Hörers augenblicklich wieder gelöst und es kann sofort eine neue hergerichtet werden. Dies Auflösen der Verbindung geschieht also, wenn schon auf einer Seite der Hörer eingehangen wird, wodurch es ausgeschlossen wurde, daß etwa jemand eine Verbindung dauernd bestehen läßt und so den betreffenden anderen Teilnehmer an der Herstellung einer anderen Verbindung behindert. In Österreich hat man versuchsweise die Rufscheibe durch eine Einrichtung ersetzt, bei der man zuerst die anzurufende Nummer sichtbar einstellt und erst dann die Impulse für den Vermittler gibt. Mir scheint die Nummernscheibe den Vorzug zu verdienen.

Fig. 100

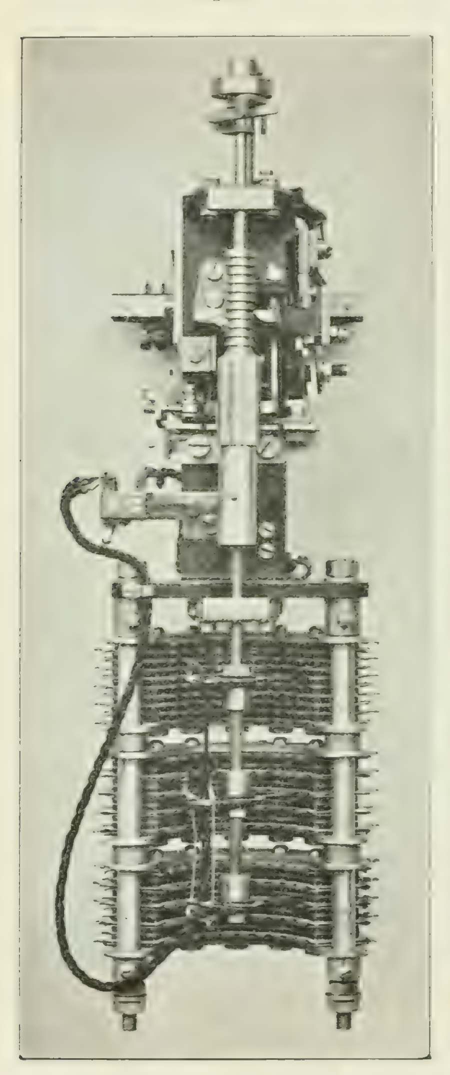


Der Nummernschalter (Wählscheibe).

Das Prinzip der Arbeitseinrichtung beruht nun auf einer schrittweisen Bewegung elektromagnetisch gesteuerter Schaltorgane, sogenannter Wähler, von denen wir in Fig. 101 den für das ganze System charakteristischen Leitungswähler jetzt etwas näher betrachten wollen. Dieser Apparat hat die Aufgabe, unter 100 Anschlußleitungen die gewünschte auszusuchen. Er besteht aus einer vertikal angeordneten Schaltwelle, die durch einen Elektromagneten um 10 Schritte gehoben und durch einen zweiten um 10 Schritte gedreht werden kann. An der Welle sind 3 Kontaktarme be-

festigt, von denen zwei zur Ausführung der Verbindung und der dritte zur Herstellung eines Prüfstromkreises und Sperrung der Leitung für andere Anrufe dienen. Jedem Arm entspricht ein Satz von 100 Kontakten, die kreisbogenförmig in Reihen zu 10 untereinander angeordnet und mit den einzelnen Anschlußleitungen verbunden sind.

Fig. 101.



Der Leitungswähler.

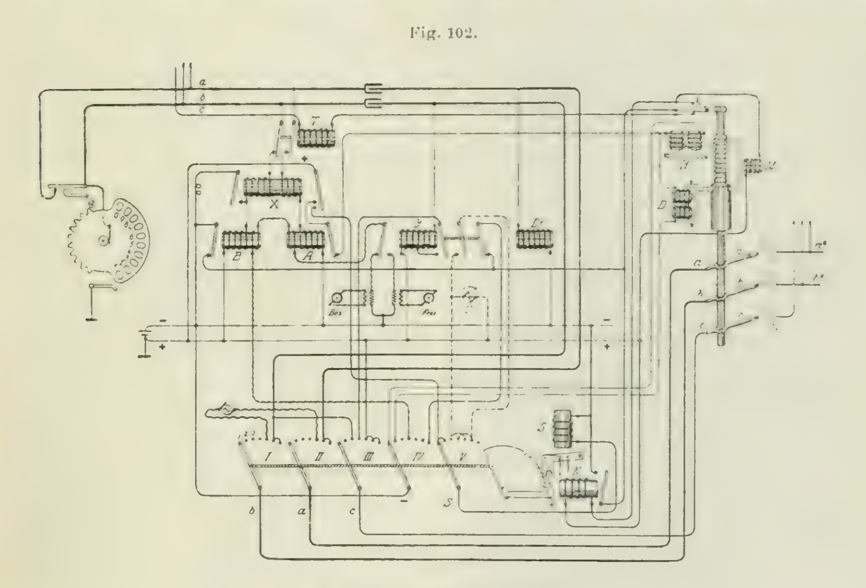
So oft die Nummernscheibe am Teilnehmerapparat nach erfolgter Drehung in die Ruhelage zurückgeht, werden Stromimpulse in die Anschlußleitung gesandt, welche den Wählermechanismus des Amtes in Gang setzen. Die Anzahl der jedesmal abgegebenen Impulse entspricht der jeweilig gegriffenen Ziffer der Anschlußnummer.

Wir betrachten nun zuerst das einfache Beispiel, daß 100 Teilnehmer automatisch miteinander verbunden werden sollen. Jeder Teilnehmer hätte hier also noch in der Verbindungszentrale einen der soeben beschriebenen Leitungswähler, durch welchen er sich mit jedem der 100 angeschlossenen Teilnehmer verbinden kann. Jeder der 100 Kontakte desselben ist in Vielfachschaltung durch die 100 Leitungswähler hindurchgeführt. Anstatt der Einfachleitung und Erde sind Doppelleitungen *a* und *b* (ohne Erde) für Teilnehmerleitungen vorgesehen, und außerdem befindet sich im Amte noch eine dritte *c*-Leitung. Dreht der Teilnehmer, um beispielsweise die Nr. 56 anzurufen, seine Nummernscheibe von 5 ab, so werden 5 Stromstöße in die Leitung gesandt; diese erregen den Hebemagnet 5mal, wodurch die Welle mit den Kontaktarmen um 5 Stufen gehoben wird. Bei der zweiten Drehung von 6 ab wird der Drehmagnet 6mal erregt und so die Welle um 6 Schritte gedreht, so daß sich die Kontaktarme auf den 6. Kontakt der 5. Reihe einstellen. Die Verbindung ist damit hergestellt. Zur Aufhebung derselben dient ein besonderer Auslösemagnet, welcher anspricht, sobald ein Teil-

nehmer den Hörer wieder anhängt. Die Schaltwelle fällt dann sofort in die Ruhelage zurück und die Verbindung ist getrennt.

Um die diesen Vorgängen zugrunde liegenden Einrichtungen zu verstehen, betrachten wir in Fig. 102 das Schema des Steuerschalters, dessen konstruktive Ausführung in Fig. 103 dargestellt ist. Der Steuerschalter selbst besteht aus einer Anzahl von Kontaktarmen, die von einem Schaltmagneten über Kontaktbleche schrittweise hinwegbewegt werden können, während ein zweiter Elektromagnet am Ende des Gesprächs die Rückstellung der Arme besorgt. In Fig. 102 ist links die Wählscheibe des rufenden Teilnehmers, in der Mitte der Steuerschalter mit den zugehörigen Relais und rechts der Leitungswähler; der Übersichtlichkeit wegen sind

Fig. 102.



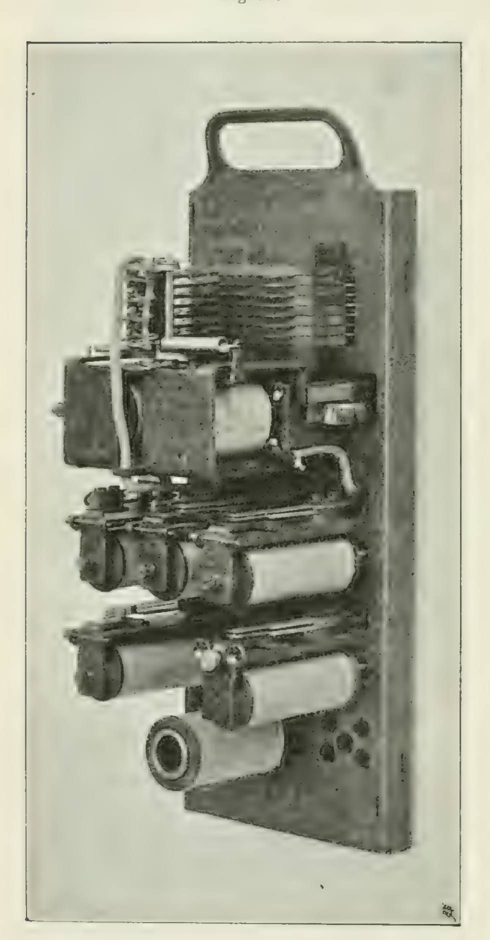
Schema der Steuerschaltung.

sonstige Teile wie Klingel, Umschalter und Kondensatoren weggelassen; letztere haben wie beim gewöhnlichen Zentral-Mikrophonsystem die Aufgabe, im Leitungswähler den Sprechstromkreis für Gleichstrom nach der Seite des Rufenden und Gerufenen hin zu trennen.

Wenn der Teilnehmer den Hörer abnimmt, so wird ein Strom geschlossen für die Relais A, B, X. Es werden A, B magnetisch, nicht aber X, weil es differential gewickelt ist. B schaltet Leitung c nebst Trennrelais T vom —Pol ab. Hierdurch wird die rufende Teilnehmerleitung besetzt gemacht. Der Teilnehmer dreht jetzt die Nummer 56, zuerst die Scheibe, von der Ziffer 5 ab. Es werden a- und b-Leitung bei der Station geerdet und X erregt, weil die Symmetrie des Stromflusses gestört ist (X hält B erregt, damit bei Stromunterbrechungen durch Scheibe Wähler nicht auslöst). X schließt ferner einen Strom für Steuerschaltermagnet S. S wird

erregt und sein Anker angezogen, Hebel *I* bis *V* bleiben aber zunächst in Stellung *1*. Beim Rücklauf der Scheibe wird *a*-Leitung 5mal unterbrochen, daher *A* 5mal stromlos, und dementsprechend werden 5 Stromstöße von + über Anker von *X*, Anker von *A*, Hebemagnet *H*, Steuerschalterarm *IV* und — Pol gesandt. *H* wird 5mal erregt und Welle 5 Schritte gehoben.

Fig. 103.



Der Steuerschalter (Relaissatz).

Wenn Teilnehmerscheibe zurückgelaufen ist, läßt *X* Anker fallen. Nun wird *S* stromlos, daher geht durch Federwirkung Steuerschalterhebel von *1* nach *2*. Nun dreht der Teilnehmer die Scheibe von der Ziffer *6* ab. Wieder wie vorhin *a*- und *b*-Leitung geerdet, *X* und *S* erregt. Impulse gehen jetzt über Drehmagnet *D* statt über *H*, daher wird die Kontaktwelle um 6 Schritte gedreht. Nach Ablauf der Scheibe wird *X* und *S* stromlos. Steuerschalterhebel gehen nach Stellung *3* und von hier gleich nach *4*, indem *S* in Stellung *3* durch Hebel *V* vom Unterbrecher *U* einen Impuls empfängt. Beim Passieren der Stellung *3* wird die ausgewählte Teilnehmerleitung Nr. 56 geprüft mittelst Relais *Y* über Hebel *III 3* Erde.

Ist die Leitung frei, dann ist die *c*-Leitung des gewünschten Teilnehmers über das Trennrelais *T*, Kopfkontakt *k* und Kontakt von *B* an den —Pol angeschaltet. *Y* spricht daher an und schließt nach Übergang der Hebel nach *4* mit seinem eigenen Kontakt einen Teil seiner Wicklung kurz, wodurch die ausgewählte Leitung an Erde liegt und für andere Teilnehmer gesperrt wird. *Y* bleibt bei der Hebelstellung *4* und *c*, Hebel *III*, Kontakt linker Arm des dreiteiligen Ankers von *Y*, niedrigohmige Wicklung von *Y*, + erregt. Jetzt kommt ein neuer Impuls für den Steuerschaltermagnet *S* über Hebel *V*, so daß die Hebel von Stellung *4* nach *5* übergehen: in Stellung *5* bekommt *S* abermals einen Impuls vom Unterbrecher *U*, so daß Hebel nach *6* gehen. Beim Passieren der Stellung *5* legen die Hebel *I* und *II* die ausgewählte Leitung an die Rufstromquelle an, so daß Teilnehmer ein Wecksignal er-

hält. Schon vorher in Stellung *4* hat der rufende Teilnehmer ein Freisignal erhalten, da der linke Anker von *Y* eine durch ein Summersignal induzierte Spule durch *IV 4* schloß. In Stellung *6* (Wartestellung) ist eine aus *Y* und Drosselspule *Dr* gebildete Speisebrücke an die gewünschte Leitung angeschaltet. Wenn der Gerufene seinen Hörer abnimmt, wird Strom für *Y* geschlossen. *Y* schließt neuen Impuls für *S*, worauf Hebel in die Endlage *7* übergehen. Die Speisebrücke bleibt hierbei eingeschaltet. Ebenso bleibt die *c*-Ader der gerufenen Leitung über Hebel *III* mit Erde verbunden zum Zwecke der Sperrung.

Trennung der Verbindung. Wenn einer der beiden Teilnehmer einhängt, wird Leitungswähler ausgelöst, und zwar, wenn der Rufende anhängt, werden Relais *A* und *B* stromlos. *B* schließt Strom: + *M* (bzw. *N*), Kopfkontakt *k*, Kontakt von *B* — Pol. Wenn der angerufene Teilnehmer zuerst anhängt, wird *Y* stromlos und folgender Strom für Auslösemagnet geschlossen: + *M* (bzw. *N*), Kopfkontakt *k*, Kontakt *Y*, Hebel *IV* (in Stellung *7*) - Pol. *M* und *N* sprechen an. *M* löst die Schaltstelle aus. *N* Steuerschalter. *N* hält mit seinem Kontakt Auslösestrom aufrecht, bis oberer Kopfkontakt *k* sich öffnet; dann *M* und *N* stromlos.

War beim Prüfen die Leitung besetzt, so spricht *Y* beim Prüfen des Hebels *III* in Stellung *3* nicht an, und es ist daher der Hebel *III* auch in Stellung *4* stromlos. Der Steuerschalter bleibt daher in Stellung *4* liegen, und der Rufende erhält, da *Y* nicht erregt wird, das Besetztsignal (ein anhaltendes, summendes Geräusch).

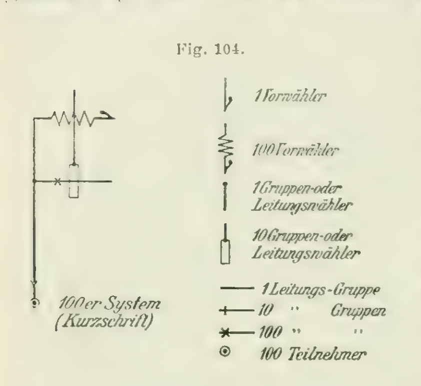
Es wurde bereits vorher auseinandergesetzt, weshalb es nach dieser Darstellung eines 100er-Amtes nicht möglich ist, größere Ämter etwa bis zu 100000 Teilnehmer zu bauen. Die angestellten Überlegungen zeigen, daß zunächst nicht für jede Anschlußleitung ein Leitungswähler vorhanden zu sein braucht. Dieselbe steht vielmehr in Verbindung mit dem schon vorher erwähnten Vorwähler. Die Schaltung ist derartig durchgeführt, daß beim Abnehmen des Telephonhörers der Vorwähler so lange läuft, bis er einen freien Leitungswähler gefunden hat, ohne daß der Teilnehmer irgend etwas dazu tut und ehe er dazu kommt, die Wählscheibe zu drehen. Die Wahl des gesuchten Teilnehmers geschieht nun genau in derselben Weise wie das vorher bei dem 100er-Amt ohne Vorwähler der Fall war. Im vorher abgebildeten *Siemens*schen Vorwähler wird, wie schon angedeutet, durch ein Schaltwerk eine Kontaktvorrichtung so lange fortgeschaltet, bis ein freier Leitungswähler erreicht worden ist. Die *Keith*schen Vorwähler der Automatic Electric Co. arbeiten nach einem andern Konstruktionsprinzip, worauf ich aber hier nicht näher eintreten will.

In Verbindung mit dem Vorwähler gibt der Leitungswähler aber nur die Möglichkeit, zweistellige Anschlußnummern einzustellen. Bei größeren Anlagen mit drei- und mehrstelligen Nummern sind deshalb noch weitere Apparate erforderlich, welche dem Leitungswähler vorgeschaltet werden und die gewünschte Hunderter-, Tausender- oder Zehntausendergruppe aussuchen, und zwar ist für jede weitere Stelle der Anschlußnummern ein

sogenannter Gruppenwähler erforderlich. Bei Anlagen mit dreistelligen Zahlen hat man demnach außer dem Leitungswähler eine, bei vierstelligen zwei, bei fünfstelligen Zahlen drei Arten von Gruppenwählern. Diese Gruppenwähler sind ganz ähnlich wie die Leitungswähler gebaut, nur daß bei ihnen die Drehbewegung der Achse selbsttätig erfolgt. Auch von diesen Wählern braucht nur ein geringer Prozentsatz der Teilnehmerzahl vorhanden zu sein.

Um die Anordnung der Gruppenwähler übersichtlich darzustellen, benutzen wir die von Prof. *Raps* in seinem Vortrag gewählten Symbole gemäß Fig. 104. Für ein 1000er-System werden 100 Gruppenwähler angebracht, welche die Auswahl von freien Leitungswählern in der gewünschten 100er-Gruppe ermöglichen. Deshalb wählt jetzt der Vorwähler des Teilnehmers beim Abheben des Fernhörers einen freien Gruppenwähler. Dreht jetzt der Teilnehmer seine Wählscheibe, so wird der Kontaktarm des Gruppenwählers in die Horizontalreihe des gewünschten 100ers gehoben, dann wählt sich der Gruppenwähler einen freien Leitungswähler des betreffenden 100ers dadurch aus, daß der Kontaktarm so lange selbsttätig in der betreffenden Horizontalreihe weiter geschaltet wird, bis er einen freien Leitungswähler vorfindet. Nun geschieht die Schaltung genau ebenso, wie es bei dem 100er-System beschrieben wurde.

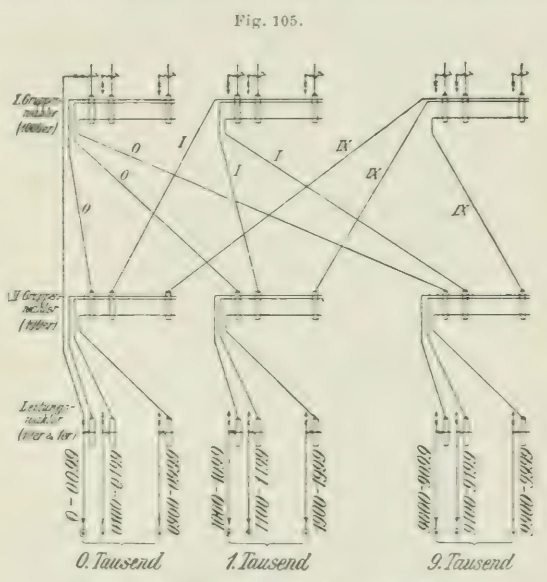
Fig. 104.



Gehen wir noch zu einem 10000er-System über, so wären 10 Tausendersysteme nebeneinander zu stellen. Dort können die Teilnehmer der Tausendergruppen untereinander verkehren, und es muß jetzt noch ermöglicht werden, daß jede Tausendergruppe mit jeder anderen Tausendergruppe verkehren kann. Zu diesem Zwecke wird wieder eine weitere Sorte von Gruppenwählern eingeschaltet, und zwar Tausenderwähler in einer solchen Schaltung, daß je 100 Vorwähler 10 Tausenderwähler erreichen können. Wir haben also jetzt zwei Sorten von Gruppenwählern, und zwar erste Gruppenwähler (Tausender) und zweite Gruppenwähler (Hunderter). Die Leitungswähler bleiben genau dieselben wie bisher. Die Schaltung eines 10000er-Amtes ist nun durch Fig. 105 (mit Hilfe der Symbole Fig. 104) leicht zu verstehen. Wir sehen, daß von jedem Tausend je 10 Leitungen der ersten Gruppenwähler in jedes Tausend führen, und auf der Zeichnung sind die von jeder Tausendergruppe ausgehenden Verbindungsleitungen mit der betreffenden Ordnungszahl bezeichnet. Verfolgen wir z. B. die früher gewählte Verbindung 8972. Beim Abheben des Hörers wird die Anschlußleitung durch den Vorwähler mit einem freien I. Gruppenwähler verbunden. Bei der ersten Scheibendrehung wird die Schaltwelle dieses Wählers um 8 Stufen gehoben, die Kontaktarme stehen dann vor einer Reihe von

10 Verbindungsleitungen und suchen sich unter diesen selbsttätig eine zu einem freien II. Gruppenwähler führende Leitung aus. Bei der zweiten Scheibendrehung steigt die Welle dieses zweiten Wählers um 9 Schritte, und ihre Kontaktarme suchen sich in gleicher Weise von den 10 an dieser Kontaktreihe angeschlossenen Leitungswählern selbsttätig einen freien aus. Durch die dritte Scheibendrehung wird dann die Welle des Leitungswählers um 7 Stufen gehoben und durch die vierte um 2 Schritte gedreht. Damit ist die Verbindung hergestellt. Das Prinzip der Amtsschaltung beruht also auf der Hintereinanderschaltung ähnlich gebauter Wähler, und man erkennt, daß es auf diese Weise möglich ist, durch Einschaltung weiterer Gruppenwähler die Kapazität einer Anlage ohne weiteres beliebig zu erhöhen.

Fig. 105.



Schaltung (symbolisch) eines 10000er Amtes.

In neuerer Zeit sind noch Vorrichtungen ersonnen, welche die Anzahl der Gruppenwähler bedeutend zu reduzieren gestatten, vor allem die doppelten Vorwähler oder Anrufsucher, bei welchen nicht auf 100 Teilnehmer 10% erste Gruppenwähler erforderlich sind, sondern es können durch diese Apparate eine größere Anzahl von Teilnehmern zusammengefaßt werden, die dann natürlich eine geringere prozentische Anzahl von ersten Gruppenwählern nötig haben, etwa nur 5% anstatt 10% bei derselben Gesprächsdichte. Auch die Vorrichtungen, welche gestatten, daß auf einer Leitung nach der Zentrale mehrere Teilnehmer verbunden werden können, d. h. die Nebenstellenschalter, sind für das automatische System in vollkommener Weise gelöst worden.

Bei Teilnehmern, die mehrere Anschlüsse im Amt haben, kann man auch die Einrichtung so treffen, daß eine besondere Vorrichtung gleich eine Freileitung auswählt; hierdurch braucht im Teilnehmerverzeichnis nur eine Nummer geführt zu werden.

Auf weitere technische Details möchte ich nicht eintreten. Wenn man zum erstenmal den Betrieb eines selbsttätigen Amtes beobachtet, so ist der Eindruck etwas verwirrend, zumal wenn man daran denkt, daß von den vielen Kontakten, die zur Herstellung einer Verbindung in wenigen Sekunden in Bewegung gesetzt werden, auch nicht ein einziger versagen

darf. In einem großen Saal, wie ihn die Abbildungen der Ämter veranschaulichen, sieht man nur die vorher beschriebenen Elemente der Apparatur, in denen unaufhörliches Leben zu pulsieren scheint. Peinlichste Sauberkeit ist natürlich erforderlich, um die Mechanismen in betriebssicherem Zustande zu halten, zu welchem Zwecke gelegentlich Staubexhaustoren in Tätigkeit gesetzt werden. Und doch ist der Betrieb in Wirklichkeit einfach und durch die moderne Technik auf eine hohe Stufe der Betriebssicherheit gebracht.

Wir hätten uns jetzt zu fragen, welches die Vorteile des automatischen Systems gegenüber dem manuellen für die Telephonverwaltung und für das Publikum sind. Prof. *Raps* hat zunächst an Hand von Kurven, die hier nicht reproduziert werden sollen, für die Telephonverwaltung die größere Wirtschaftlichkeit als Folge der wesentlich geringeren Betriebskosten klar nachgewiesen. [1])

Obwohl die Kosten der erstmaligen Installation höher sind, werden die regelmäßigen Ausgaben pro Jahr für Verzinsung und Amortisation doch nicht größer sein, denn die Lebensdauer der mechanischen Ämter ist bedeutend größer als bei den Handämtern. Um ein Beispiel zu nennen, sind die Apparate des im Jahre 1900 in Fall River (Mass., U. S. A.) erbauten Amtes noch heute im Betrieb und zeigen nach Ausspruch des Direktors eine so geringe Abnutzung, daß für absehbare Zeiten eine Erneuerung des Amtes nicht nötig sein wird.

Die regelmäßigen Ausgaben für Gehälter und Pensionen fallen fort. Auch wird an Räumlichkeiten gespart, denn die Garderoben und Speiseräume für dieses Personal sind nicht mehr erforderlich und für das Amt selbst wird weniger Platz benötigt als bei den manuellen Anlagen. Es genügen einfache Räume, die beliebig angeordnet sein können. Ferner wird auch erheblich an den Ausgaben für Beleuchtung gespart; während man bei den Handämtern große Säle zu erleuchten hat, genügen beim automatischen Amt als Allgemeinbeleuchtung einige Lampen, die für die Gänge ausreichen. Die Beleuchtung der Wählergestelle wird nur während des Bedarfsfalles eingeschaltet.

Zur Instandhaltung eines automatischen Amtes wird nicht mehr Personal erforderlich als bei den Handämtern. Man rechnet ganz allgemein

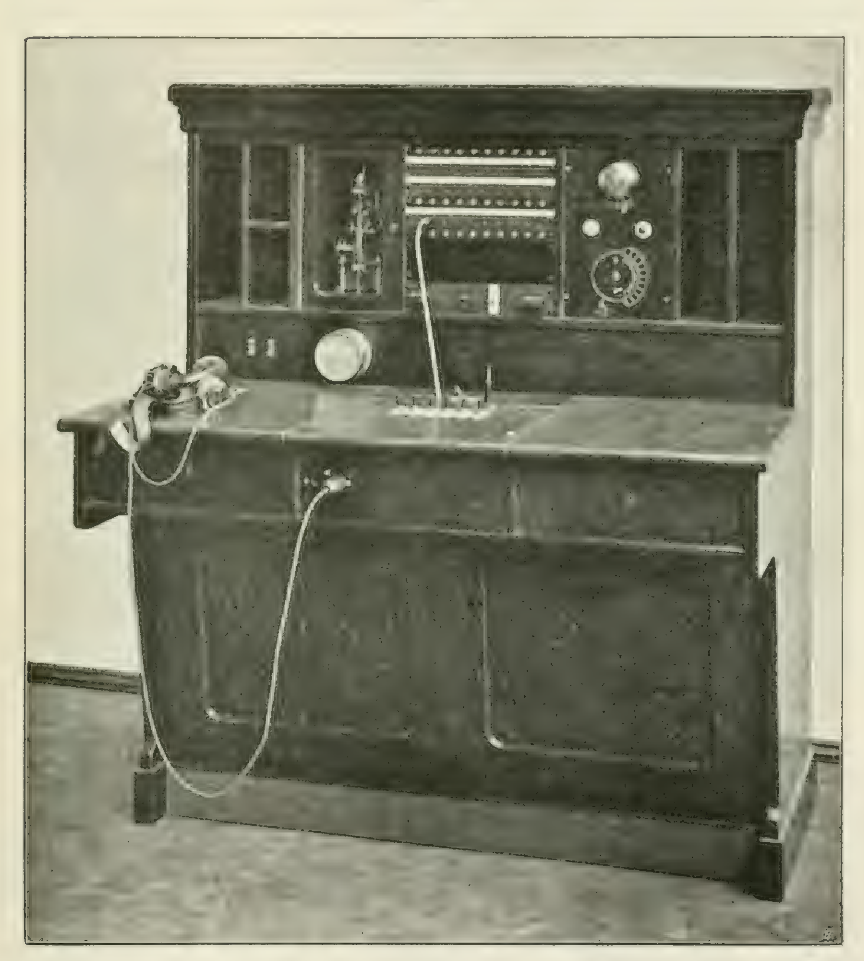
---

[1]) Einer der besten Kenner des österreichischen Telephonwesens Hofrat *K. Barth v. Wehrenalp* gab schon im Jahre 1908 folgende Zahlen, welche die wirtschaftlichen Verhältnisse illustrieren: Bei Handbetrieb kostet ein Amt für 20000 Teilnehmer im günstigsten Falle etwa 1·36 Millionen Mark, bedingt 720 Beamtinnen und 60 Mechaniker und verbraucht jährlich an Besoldung des Personals 672000 Mark und für Verzinsung und Abschreibung 204000 Mark. Ein automatisches Amt für die gleiche Teilnehmerzahl kostet 2·88 Millionen Mark, braucht für Hilfsdienste 70 Beamtinnen und 120 Mechaniker und verbraucht für Besoldung 248000 Mark und für Verzinsung und Abschreibung 432000 Mark. Beim automatischen Amt werden hiernach also jährlich 216000 Mark gespart, so daß die Mehrauslagen für die Anlage in 7 Jahren gedeckt sind. Je größer die Teilnehmerzahl, um so mehr verschiebt sich das Resultat zugunsten des automatischen Betriebes. Heute sind die Zahlen für letzteren noch günstiger.

für je 1000 Teilnehmeranschlüsse 1 Mechaniker und eine Hilfskraft, bei größeren Ämtern kommt man noch mit weniger aus.

Was die Störungen anbelangt, so sind dieselben geringer als bei den Handämtern, obwohl bei den letzteren die Schnurstörungen noch nicht mit eingerechnet sind, die ja einen sehr hohen Prozentsatz aller dort vor-

Fig. 106.



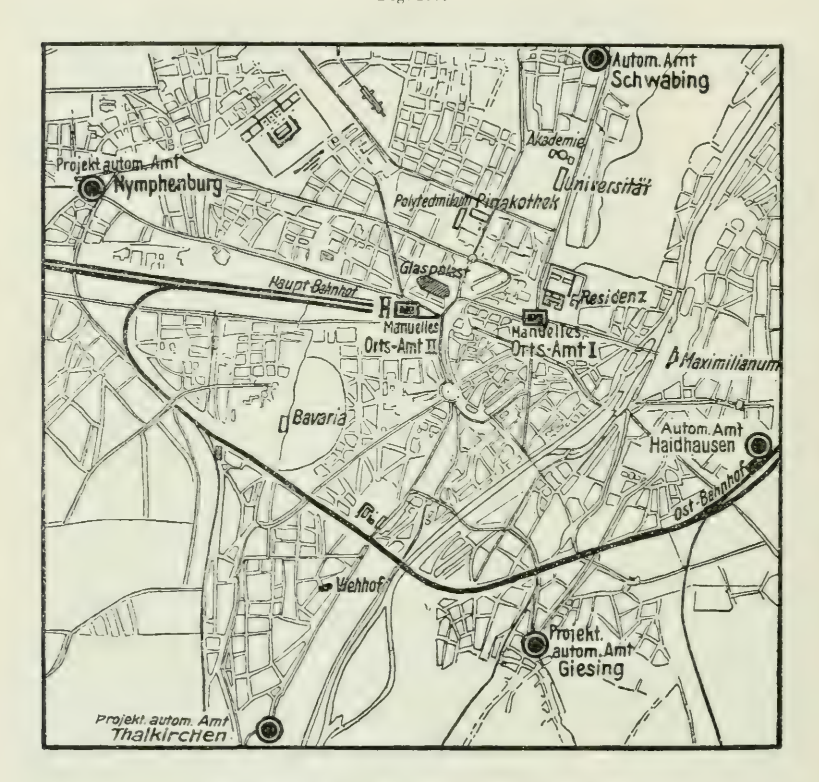
Prüfschrank.

kommenden Störungen ausmachen, beim automatischen Amt jedoch gänzlich fortfallen. Nun kommt aber beim automatischen Amt als sehr wesentlicher Faktor hinzu, daß jede Störung sofort selbsttätig angezeigt wird, während man bisher ganz auf die Überwachungstätigkeit der Beamtin angewiesen war. Dem Mechanikerpersonal ist es beim automatischen Amt

ein Leichtes, den schadhaft gewordenen Teil auszuwechseln, ohne selbst den stärksten Betrieb irgendwie zu stören, und es sind ferner einfache Vorkehrungen gemäß Fig. 106 (Prüfschrank) getroffen, mit welchen von Zeit zu Zeit die ganze Anlage durchgeprüft werden kann.

Als weiterer großer Vorzug in wirtschaftlicher Hinsicht ist die Möglichkeit weitgehendster Dezentralisation zu nennen. Anstatt in großen Städten ein großes oder mehrere solcher Ämter, die kostspielige und umfangreiche Bauten erfordern, einzurichten, und die Teilnehmer an diese mit

Fig. 107.



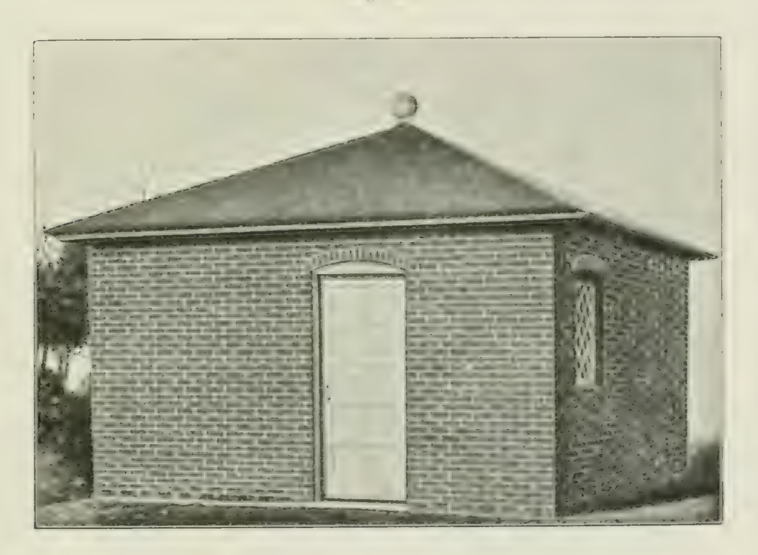
Dezentralisation des Münchener Fernsprechbetriebes.

kilometerlangen Leitungen anzuschließen, kann man beim automatischen Betrieb eine große Zahl kleiner Zentralen vorsehen, die untereinander mit nur wenigen Leitungen verbunden zu werden brauchen und trotzdem einen so guten Betrieb ermöglichen, als wäre nur ein Amt da. Hieraus ergeben sich kurze Teilnehmer-Anschlußleitungen, wodurch ganz erhebliche Summen erspart werden können. Dieser Vorzug wird hauptsächlich dort zur Geltung kommen, wo die Einführung des automatischen Betriebes mit einer aus sonstigen Gründen notwendigen Neugestaltung des Netzes zusammenfällt,

wie dies bei der Anlage München schon erwähnt wurde. Diese Ersparnisse können so groß werden, daß die Gesamtsumme für ein automatisches Amt nebst Leitungsnetz nicht größer als bei einer manuellen Anlage wird.

Ein automatisches Amt kann also gewissermaßen auseinandergepflückt werden, und man kann die einzelnen Teile dorthin legen, wo gerade die vorhandene Abonnementsdichte sie verlangt. Auf der beistehenden Karte, Fig. 107, haben wir ein Bild von der Dezentralisation des Münchener Fernsprechbetriebes. Am 1. Dezember 1910 wurde das Amt Haidhausen in Betrieb genommen und bildet ein weiteres Glied in der Einführung des vollautomatischen Betriebes in München und der damit verbundenen Dezentralisation. Die Abbildung zeigt ferner das automatische Amt Schwabing.

Fig. 108.



Unterzentrale.

sowie die jetzt noch manuellen Ortsämter I und II; die Umwandlung der letzteren in automatischen Betrieb, ferner den Bau dreier weiterer automatischer Ämter in Giesing, Thalkirchen und Nymphenburg sind projektiert.

Wird sehr stark dezentralisiert, so entstehen sogenannte Unterzentralen (100—500 Anschlüsse) (Fig. 108). Diese haben kein ständiges Aufsichtspersonal und können, da der Raumbedarf sehr gering ist, in jedem beliebigen Gebäude errichtet werden. Man ist in der Lage, vom nächsten Amt aus die Apparate der Unterzentralen leicht zu kontrollieren und sendet nur von Zeit zu Zeit einen Mechaniker, um eventuelle Reparaturen vorzunehmen. Die Apparate, welche defekt werden, setzen sich selbsttätig außer Betrieb, so daß nur die brauchbaren eingeschaltet bleiben.

Man ist also in der Lage, das Netz den jeweiligen Bedürfnissen ohne Schwierigkeiten anzupassen und dem Ausbau des Weichbildes folgend leicht zu erweitern resp. die Unterzentralen weiter hinaus zu verlegen.

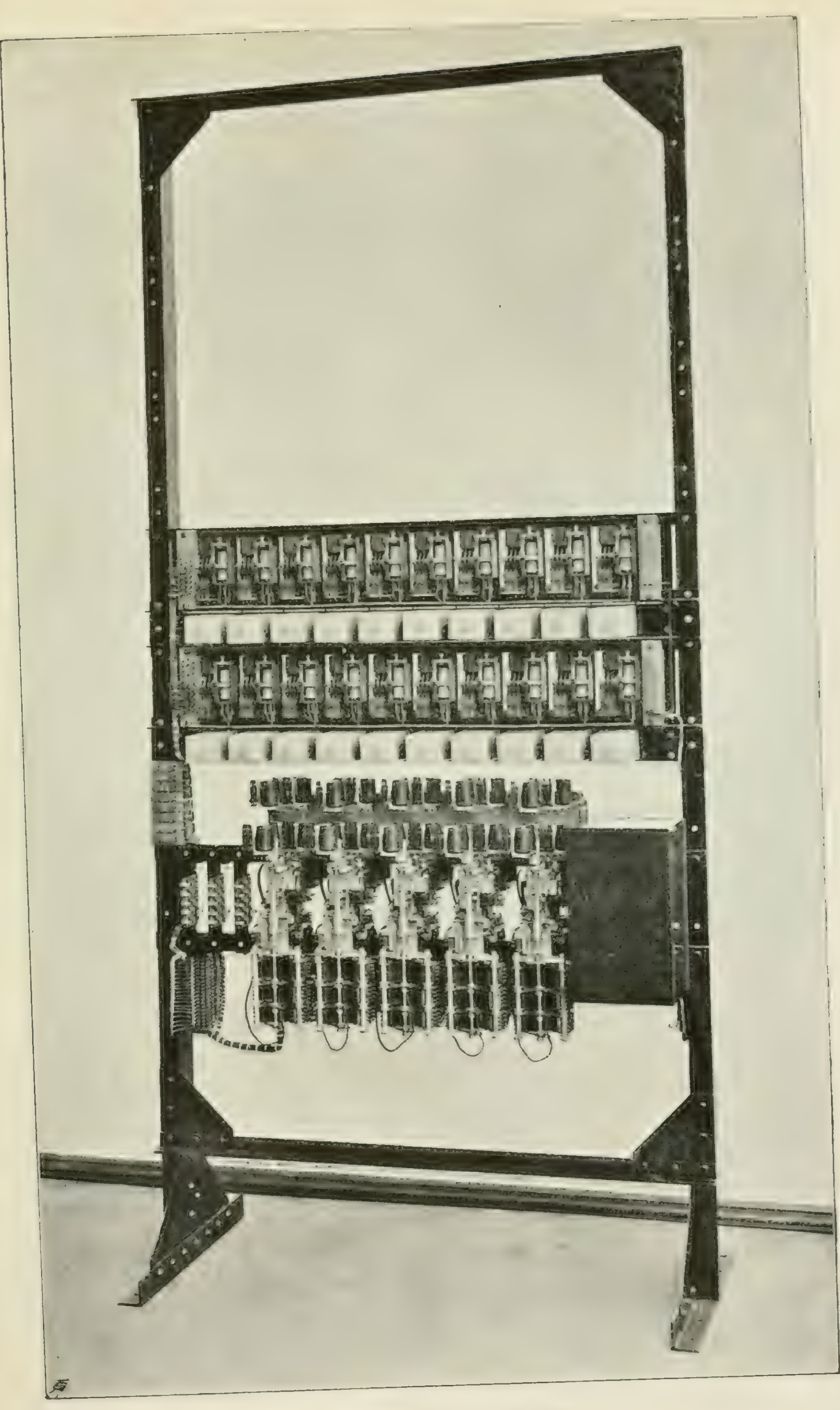
Von größter Bedeutung wird das automatische System für die weitere Einführung des Telephons auf dem flachen Lande sein, für kleine Ortschaften und Dörfer, einsam liegende Siedelungen usw. Hier liegt speziell in Deutschland ein dankbares Arbeitsgebiet vor, da das Telephon auf dem Lande noch sehr spärlich anzutreffen ist. Dies hat seinen Grund vor allem wohl darin, daß die Anschlußleitungen zum nächsten Postamt von beträchtlicher Länge sein müssen, was die Einrichtung einer Sprechstelle ungemein verteuert. Wo aber eine öffentliche Sprechstelle vorhanden ist und von dieser einige Nebenstellen bedient werden, z. B. beim Postagenten oder auch auf dem Postamt, da steht die Einrichtung dem Publikum nur während der wenigen Dienststunden zur Verfügung.

Als ein Beispiel einer solchen kleinen Anlage sei diejenige des Landstädtchens Dallmin, Fig. 109, genannt. Hier befindet sich ein Amt für 30 Teilnehmer, die unter sich vollautomatisch verkehren, während Außengespräche über eine nach dem Postamt des 6 *km* entfernten Karlstadt führende Leitung geführt werden können. Solche kleine Ämter lassen sich mit Leichtigkeit und ohne allzu große Kosten über das flache Land verteilen, sie bedürfen keiner ständigen Kontrolle und verursachen so gut wie gar keine Unterhaltungskosten. Die ausgedehnte Verbreitung der sogenannten Farmer-lines in den Vereinigten Staaten, die über die Hälfte der rund 7 Millionen Stationen ausmachen, beweist, wie groß das Bedürfnis des Telephons für das Land ist.

Des weiteren bietet das automatische System den großen Vorteil, bestehende Anlagen, deren Kapazität erschöpft ist, die aber fast noch gut imstande sind, zu ergänzen, da das automatische System sich allen Verhältnissen mit Leichtigkeit anpaßt und ohne weiteres auch mit manuellen Ämtern zusammenarbeiten kann. Demgegenüber gestalten sich Erweiterungen bei Handämtern recht schwierig und kostspielig, da jedesmal Eingriffe in die Klinkenfelder des alten Amtes nötig sind. Wenn also in größeren Netzen die bestehenden Handämter vollständig ausgebaut sind und ihre Erweiterung und besonders der Anschluß der immer länger werdenden Anschlußleitungen unverhältnismäßig teuer werden würde, so wird man rings um das zu klein gewordene Netz kleine automatische Ämter bauen. Der Verkehr der Teilnehmer dieser Ämter unter sich ist dann automatisch, während der Verkehr von und zu dem manuellen System mit Hilfe besonderer Verbindungsplätze im manuellen Amt in sehr einfacher Weise bewerkstelligt wird. Dieser Betrieb ist zurzeit in München (Schwabing und Haidhausen) bis zur vollständigen Automatisierung eingeführt und geht gut.

Von den Vorzügen, die sich in erster Linie auch dem Teilnehmer sofort bemerkbar machen, seien zunächst die völlige Unabhängigkeit vom Amt, die stete Betriebsbereitschaft bei Tag und bei Nacht, Sonn- und

Fig 109.



Automatisches Landamt Dallmin.

Feiertags genannt, sodann die prompte Bedienung, die sofortige Trennung nach Anhängen des Hörers. Wer oft in die Lage kommt, viele Gespräche schnell hintereinander führen zu müssen, wird diesen Vorzug ganz besonders zu schätzen wissen, ganz besonders fällt dieser Vorteil auch ins Gewicht in schwierigen Situationen, in die jeder einmal kommen kann, in Fällen dringender Gefahr, wenn es sich darum handelt, schnell ärztliche Hilfe zu beschaffen usw. Wie oft kommt es beim manuellen Betrieb vor, daß der Teilnehmer nach Erledigung einer Verbindung oder wenn diese nicht zustande kam, schnell eine andere Verbindung haben will und dann ungeduldig am Telephon steht und auf die Trennung warten muß, oft minutenlang! Mißverständnisse, die stets Ärger verursachen und oft schon der Anlaß zu unliebsamen Auseinandersetzungen, wenn nicht gar zu Beamtenbeleidigungen und Prozessen waren, gibt es nicht beim automatischen System, auch kein vorzeitiges Trennen, der Gegenpol zu dem Nichttrennen, keine Störungen durch die unbeliebte Zwischenfrage „Sprechen Sie noch?“. Auch geheim sind die Gespräche, da jede Kontrolle auf dem Amte und das beim manuellen System oft erforderliche Mithören fortfällt.

Ein großer Vorteil des automatischen Betriebes liegt auch, wie schon vorher erwähnt, darin, daß der Teilnehmer an besonderen Summersignalen erkennt, ob der gewünschte Teilnehmer anderweitig besetzt oder ob derselbe etwa nicht zugegen ist.

Solange noch Handämter mit automatischen Ämtern in einer Stadt zusammen arbeiten, sind folgende Fälle zu unterscheiden:

1. Verkehr zwischen zwei automatischen Ämtern; hierbei sind keine besonderen Apparate einzubauen; als einzige Vorkehrung hat man Verbindungskabel zwischen den Ämtern zu verlegen.

2. Verkehr zwischen Handamt und automatischem Amt: wenn ein Teilnehmer mit Handapparat einen automatischen Anschluß verlangt, so gibt die bedienende A-Beamtin des manuellen Amtes den Ruf über eine Dienstleistung an eine B-Beamtin beim automatischen Amt. Diese leitet die Herstellung der Verbindung durch einfaches Niederdrücken von Tasten (siehe Fig. 97) ein. Wenn diese gedrückt sind, beginnt der Zahlengeber (siehe Fig. 110) die gewünschten Impulse an das automatische Amt zu schicken. Nach Ablauf des Zahlengebers wird die B-Beamtin von der Verbindung abgeschaltet. Während des Ablaufes des Zahlengebers kann die Beamtin mit Hilfe einer zweiten Tastatur eine weitere Verbindung machen.

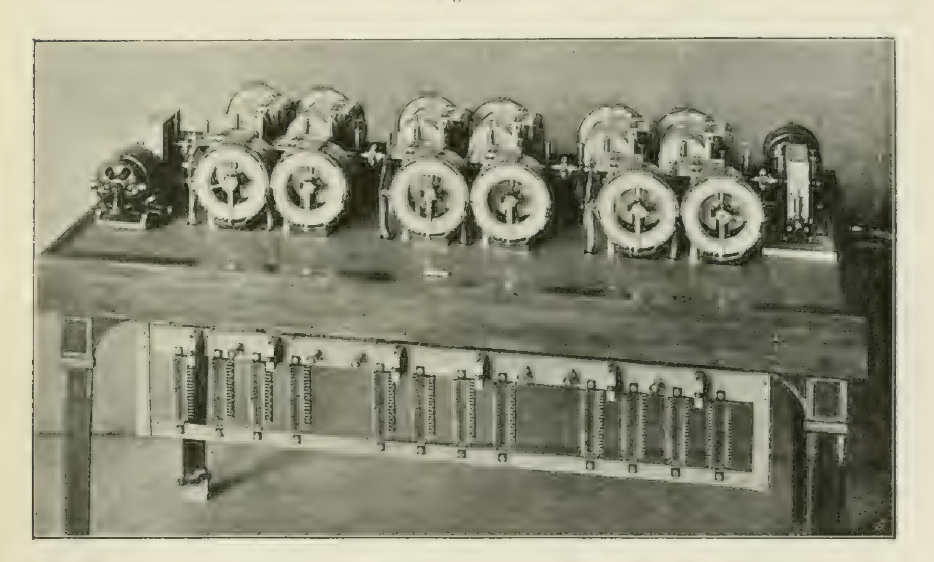
3. Verkehr zwischen automatischem Amt und Handamt; wenn in München eine automatische Stelle ein Anschluß im Handamt I wünscht, so wählt sie die Nummer 9 (für Ortsamt II die Nummer 0). Darauf ist sie mit einer Beamtin verbunden, welche die Verbindung herstellt wie bei einem Anruf von einer manuellen Station.

Die ganze Mithilfe und mechanische Arbeit der Beamtin ist also mit dem Drücken der Tasten erschöpft. In der gleichen Weise verhält es sich auf einem weiteren großen Anwendungsgebiet des automatischen Systems,

nämlich bei der sogenannten halbautomatischen Telephonie. Vorbildlich hierfür sind in Europa die von *Siemens & Halske* erbaute neue halbautomatische Zentrale in Amsterdam für 10000 Anschlüsse und die in Dresden zu erbauende mit 20000 Anschlüssen.

Das halbautomatische System ist eng verwandt mit dem vollautomatischen, da bei beiden die Amtseinrichtung im wesentlichen die gleiche ist. Der charakteristische Unterschied besteht nur darin, daß das halbautomatische System die Anrufsweise der modernen manuellen Systeme mit Zentralbatterie beibehält und die Mitwirkung einer Vermittlungsbeamtin erforderlich macht. Deren Tätigkeit ist jedoch lediglich auf die Entgegennahme der gewünschten Anschlußnummer und die Auslösung der Automaten beschränkt, welche dann, in genau derselben Weise wie beim vollautomatischen System, die Verbindung herstellen und trennen.

Fig. 110.



Der Zahlengeber (Kontaktgeber) für halbautomatische Betriebe.

Das halbautomatische System ist also dadurch gekennzeichnet, daß der Nummernschalter, d. i. die Vorrichtung, welche die Automaten bewegt, auf das Amt verlegt ist. Mit Rücksicht darauf, daß hierdurch nur wenige solcher Vorrichtungen erforderlich sind, diese aber andrerseits stark in Anspruch genommen werden, hat man diese Kontaktgeber konstruktiv besonders vollkommen ausgestaltet und zu ihrer Betätigung den Beamtinnen die schon vorher erwähnten einfachen Tastenbretter (siehe Fig. 97) zur Verfügung gestellt. Der Vermittlungsvorgang ist jetzt also der folgende: Sobald der Teilnehmer an seinem bisherigen Apparat den Fernhörer abgenommen hat, ist er sofort mit einer Beamtin auf dem Amte verbunden.

welcher er die gewünschte Nummer mitteilt. Diese stellt dann ihrerseits durch Drücken auf den Nummerntasten die gewünschte Verbindung im automatischen Amt her. Durch Greifen dieser Tastatur wird die schon erwähnte Einstellvorrichtung, nämlich der Kontaktgeber (Fig. 110), welcher die Wählscheibe des vollautomatischen Telephons ersetzt, in Tätigkeit gebracht; sobald also die Einertaste gedrückt ist, ist im Amt der Automat ausgelöst. Die nähere Einrichtung des Kontaktgebers, die es ermöglicht, die gerade für jeden Teilnehmeranruf notwendige Anzahl Impulse zustande zu bringen, braucht hier nicht beschrieben zu werden.

Viele erblicken einen Vorzug darin, daß der Teilnehmer in gewohnter Weise das Amt anrufen kann. Die geringe Mühe des Drehens der Anrufscheibe bleibt ihm allerdings erspart, er entbehrt dafür aber den großen Vorteil der Unabhängigkeit vom Amt und muß auch etwaige durch Hörfehler verursachte Falschverbindungen in den Kauf nehmen. Im übrigen besitzt das halbautomatische System aber alle Vorzüge des vollautomatischen Betriebes, als welche vor allem zu nennen sind: Schnelligkeit der Verbindung, sofortige Trennung nach Gesprächsschluß, keine vorzeitige Trennung, keine Zwischenfragen, Wahrung des Gesprächsgeheimnisses, erhebliche Ersparnis an Personal. Natürlich gelten auch die gleichen Überlegungen betreffend die Möglichkeit weitgehender Dezentralisation der Amtsanlagen wie beim vollautomatischen Betrieb. Welchem der beiden Systeme der Vorzug zu geben ist, wird in jedem einzelnen Falle von speziellen Verhältnissen abhängen. Jedenfalls aber dürfte das halbautomatische System, da es die Anrufsweise der Neuerung manueller Systeme mit Zentralbatterie beibehält und lediglich durch Änderung der gewöhnlichen Teilnehmerstation in automatische den allmählichen Übergang zum vollautomatischen System gestattet, dazu berufen sein, die Umänderung in ein vollautomatisches System dort wesentlich zu erleichtern, wo man aus irgend welchem Grunde Bedenken hat, sofort zum vollautomatischen Betrieb überzugehen.

Was den in neuerer Zeit auch sehr verbesserten Fernverkehr angeht, so ist in München für denselben im ersten Stockwerke des Selbstanschlußamtes Schwabing ein Fernverbindungsschrank aufgestellt. Jeder Teilnehmer hat hier eine Doppelunterbrechungsklinke, welche die Leitung mit einer Fernverbindungsleitung durch Einsetzen eines Stöpsels verbindet. Das ganze automatische System wird hierbei abgetrennt. Durch Anhängen des Fernhörers gibt der Teilnehmer der Fernbeamtin das Schlußzeichen mittels Lampe. Die Vorschrift für den Fernkehr ist dann die folgende:

Der Teilnehmer nimmt den Hörer ab, dreht die Scheibe von Ziffer 9 an, worauf sich die Beamtin des Meldeamtes meldet. Die Meldebeamtin vermittelt dann durch eine Rohrpostanlage der Fernbeamtin einen Zettel, auf welchem sowohl die gewünschte Fernverbindung, als auch der anrufende Ortsteilnehmer steht. Sobald die Fernverbindung frei ist, ruft die Fernbeamtin den Ortsteilnehmer direkt automatisch an. Die Verbindungen können also von der Fernbeamtin durch Betätigung einer Schaltvorrichtung automatisch ausgeführt werden.

Wir haben uns in den vorstehenden Ausführungen natürlich nur mit den grundlegenden technischen Prinzipien der Neuerung beschäftigt. Was die soziale Seite derselben angeht, so muß ich die Erörterung derselben einer anderen dazu berufenen Persönlichkeit überlassen; ich weiß nur aus eigener Erfahrung, wie nervenzerrüttend die Tätigkeit der Telephonbeamtinnen ist, und daß dieselbe zu jenen automatischen Verrichtungen gehört, die mit zunehmender Entwicklung der Technik reif für die Übernahme durch die Maschine geworden sind.

Die vorstehenden Erörterungen dürften folgende zusammenfassende Schlußfolgerung gestatten:

1. Das automatische System ist wirtschaftlicher als ein manuelles System von gleicher Größe und Gesprächszahl infolge geringerer Betriebskosten.

2. Es verringert die Ausgaben für das Leitungsnetz infolge leichter Dezentralisation der Anlagen.

3. Es paßt sich gut vorhandenen Systemen an und kann zu deren Erweiterung benutzt werden.

4. Es kann zum Betriebe von Anlagen jeder Größe verwendet werden und eignet sich zur Einführung des Telephons auf dem flachen Lande.

5. Es hat weniger Störungen als ein gleich großes Handamt, ist ständig betriebsbereit und betriebssicherer und bietet daher sowohl für die Verwaltungen als auch für das Publikum viele Annehmlichkeiten.

Ohne Zweifel stellt das automatische Telephon nach dem heutigen Stande der Technik die höchste Stufe der Entwicklung des Fernsprechwesens dar.

Ich möchte meine Ausführungen nicht abschließen, ohne meinen Dank auszusprechen der kgl. bayr. Oberpostdirektion für die freundliche Erlaubnis, die Ämter in München zu studieren, sowie den Herren Ingenieur *Frenzel* (Berlin) und dipl. Ingenieur *Weindler*, Oberpostassessor in München für ihre Informationen und Einführung in die Technik und den Betrieb der automatischen Telephonie.

Druck von Gottlieb Gistel & Cie., Wien, III., Münzgasse 6.



